

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
14 juillet 2005 (14.07.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/064984 A1**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :  
**H04Q 11/00**

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2004/050739

(22) Date de dépôt international :  
21 décembre 2004 (21.12.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0351188 23 décembre 2003 (23.12.2003) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR];  
31-33 rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **MARTINEZ,  
Christophe** [FR/FR]; 2 rue Sidi Brahim, F-38100 Grenoble  
(FR).

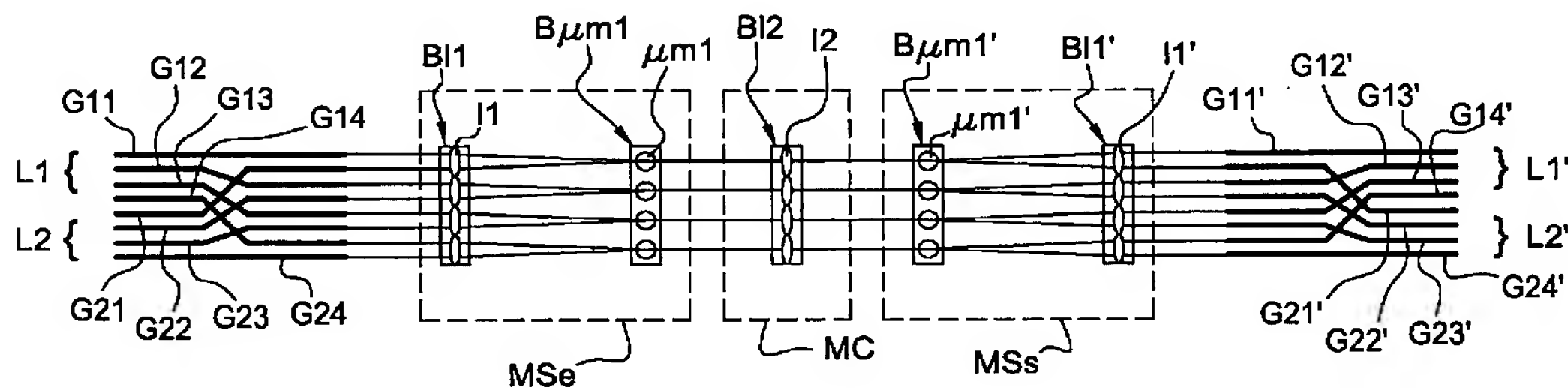
(74) Mandataire : **POULIN, Gérard**; Brevatome, 3, rue du  
Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,  
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: SIMPLIFIED OPTICAL SWITCH

(54) Titre : COMMUTATEUR OPTIQUE SIMPLIFIE



(57) **Abstract:** The invention relates to an optical switch which is intended to be mounted between: first optical lines (L1, L2) each comprising one or more optical paths (G11 to G14, G21 to G24) having a position within the optical line thereof, and second optical lines (L1', L2') each comprising one or more optical paths (G11' to G14', G21' to G24') having a position within the optical line thereof. The inventive switch comprises: selection means (MS) with at least one selection element (Sel) which can select a single optical path from a set of at least two optical paths from the first optical lines (L1, L2) or the second optical lines (L1', L2'), the optical paths from said set having the same position; and connection means (MC) which can connect the selected optical path to one of the paths from the second optical lines or the first optical lines respectively. The invention is particularly suitable for optical telecommunications.

(57) **Abrégé :** Il s'agit d'un commutateur optique à monter entre des premières lignes optiques (L1, L2) comportant chacune une ou plusieurs voies optiques (G11 à G14, G21 à G24) possédant un rang au sein de leur ligne optique, et des secondes lignes optiques (L1', L2') comportant chacune une ou plusieurs voies optiques (G11' à G14', G21' à G24') possédant un rang au sein de leur ligne optique. Il comporte des moyens de sélection (MS) avec au moins un élément de sélection (Sel) apte à sélectionner une seule voie optique parmi un ensemble d'au moins deux voies optiques des premières lignes optiques (L1, L2) ou des secondes lignes optiques (L1', L2'), les voies optiques de cet ensemble ayant un même rang, et des moyens de connexion (MC) aptes à coupler la voie optique sélectionnée à une des voies des secondes lignes optiques ou des premières lignes optiques respectivement. Application notamment aux télécommunications optiques.

WO 2005/064984 A1



(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

**COMMUTATEUR OPTIQUE SIMPLIFIE****DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE**

La présente invention est relative à un  
5 commutateur tout optique simplifié.

**ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE**

La commutation de faisceaux optiques se  
développe de plus en plus, dans les systèmes de  
10 télécommunications, du fait de l'accroissement du  
nombre de connexion à gérer, du nombre de longueurs  
d'ondes mises en jeu et de l'augmentation des  
fréquences de transmission. Les commutateurs tout  
optique sont des briques de base dans les architectures  
15 actuellement développées. Cette évolution rend en effet  
de plus en plus difficile la commutation traditionnelle  
qui nécessite une conversion optique électronique, puis  
après commutation électronique, une conversion  
électronique optique. Les commutateurs tout optique  
20 commencent à apparaître.

Le principe de base d'un commutateur tout  
optique, placé entre plusieurs voies optiques d'entrée  
et plusieurs voies optiques de sortie, est d'orienter  
un quelconque faisceau optique transmis par cette voie  
25 d'entrée vers une quelconque voie de sortie. Il s'agit  
d'une commutation point à point. Dans ce contexte, une  
voie optique est un dispositif capable de transmettre  
un faisceau optique, elle peut être guidée comme une

fibres optiques mais la transmission peut aussi se faire en espace libre.

Un commutateur tout optique point à point est par exemple connu de la demande de brevet français  
5 FR 2 821 681, il prend la dénomination de routeur.

Dans les systèmes plus complexes, les voies optiques sont regroupées en lignes optiques et plus le nombre de voies par ligne est grand, plus le commutateur devient complexe et coûteux. Il existe  
10 toutefois des applications qui peuvent se contenter d'un fonctionnement plus limité. Dans ces applications, on cherche seulement à commuter une ligne d'entrée vers une ligne de sortie. Il s'agit d'une commutation bloc à bloc. Un commutateur point à point est alors  
15 surdimensionné. C'est notamment le cas dans l'exemple illustré à la figure 1A. Une commutation bloc à bloc serait moins complexe et moins onéreuse qu'une commutation point à point.

La figure 1A illustre un exemple de circuit  
20 optique de transmission avec circuit de secours. Il comporte deux lignes optiques de transmission A et B, elles comportent chacune n voies optiques 1 à 4 (ici n=4). La ligne optique A est une ligne optique principale destinée à véhiculer des signaux optiques  
25 vers un dispositif utilisateur (non représenté) et la ligne optique B est une ligne optique de secours destinée à prendre le relais de la ligne optique principale A en cas de défaut D apparaissant sur cette dernière. Un défaut peut consister en la détérioration  
30 de la ligne optique principale A par exemple par cassure d'une ou plusieurs de ses voies optiques

guidées, par la coupure de la ligne optique principale A pour des travaux de maintenance ou par l'apparition de pertes momentanées sur la ligne optique principale A à cause de travaux dans son voisinage.

5                   En cas de défaut D, matérialisé par deux encoches sur la ligne optique principale A, la ligne optique de secours B prend le relais pour la transmission des signaux optiques en contournant le défaut D. Une fois le défaut passé, les signaux  
10 véhiculés sur la ligne optique de secours B, transitent de nouveau par la ligne optique principale A. Il est important de pouvoir commuter rapidement la ligne optique principale A vers la ligne optique de secours B en amont du défaut D puis de commuter de la ligne  
15 optique de secours B vers la ligne optique principale A en aval du défaut. On dispose de deux commutateurs  $2n \times 2n$  (ici  $8 \times 8$ ) en cascade, l'un SW1 placé en amont du défaut D et l'autre SW2 placé en aval du défaut D. Chaque commutateur comporte  $2n$  entrées et  $2n$  sorties.  
20 Les deux commutateurs SW1, SW2 sont reliés à la fois à la ligne A et à la ligne B. Sur la figure 1A, les flèches montrent le chemin suivi par les signaux optiques que doit transmettre le circuit optique. Ces derniers, véhiculés par la ligne optique principale A  
25 sont déviés vers la ligne optique de secours B par le premier commutateur SW1 et sont déviés de la ligne optique de secours B vers la ligne optique principale A par le second commutateur SW2.

                  Les commutateurs SW1, SW2 sont des  
30 commutateurs  $2n \times 2n$  point à point et ils sont surdimensionnés par rapport à l'usage qui en fait

puisque, pour assurer la continuité de la transmission, il suffit de commuter en bloc la ligne optique principale A à n voies optiques vers la ligne optique de secours B à n voies optiques. De tels commutateurs  
5 sont très coûteux, leur réalisation et leur utilisation sont complexes et cette complexité s'accroît énormément plus n est grand. Dans cette application, l'utilisation de tels commutateurs est injustifiée car ils ne sont pas utilisés au maximum de leurs possibilités.

10 On peut se référer à la figure 1B qui montre un schéma détaillé d'un commutateur conventionnel 4x4, point à point, conforme à l'enseignement des demandes de brevet FR 2 821 681 et FR 2 821 678, ce commutateur utilisant le principe de  
15 l'amplification angulaire et étant réversible.

Il comporte en cascade entre quatre premières voies optiques E1 à E4 et quatre secondes voies optiques S1 à S4 : un premier module de déflexion MDE, un module de liaison ML, un second module de  
20 déflexion MDS. Cette succession de trois modules est insérée entre un premier module de mise en forme Ble1 et un second module de mise en forme Ble2.

Les premier et second modules de mise en forme Ble1 et Ble2 comportent des éléments de mise en  
25 forme (ici au nombre de quatre) agencés en barrette. Le premier module de déflexion MDE comporte un premier et un second groupes BF1, BF2 de plusieurs éléments de déflexion F1, F2, (ici au nombre de quatre chacun) par exemple agencés chacun en barrette, séparés par un  
30 ensemble Ba1 de plusieurs éléments de conjugaison optique a1 (au nombre de quatre) agencés par exemple en

barrette. Le second module de déflexion MDS comporte un premier et un second groupes BF1', BF2' d'éléments de déflexion F1', F2' (au nombre de quatre chacun) par exemple agencés en barrette, séparés par un ensemble  
5 Ba1' d'éléments de conjugaison optique a1' (au nombre de quatre) agencés par exemple en barrette. Le nombre de quatre pour les différents éléments correspond au nombre d'entrées et au nombre de sorties du commutateur point à point.

10 On entend par barrette d'éléments optiques (éléments de déflexion (miroirs), éléments de déviation (lentilles), éléments de mise en forme (lentilles).....) la possibilité de fabriquer les éléments optiques collectivement et de les utiliser de façon groupée afin  
15 de simplifier leur agencement. A titre d'exemple une barrette de lentilles couramment utilisée dans un commutateur tel que celui dans les demandes de brevet citées plus haut correspond à un bloc de silice de 5mm x 3mm x 2,5mm sur lequel ont été déposées des lentilles  
20 en polymère dont le diamètre est de 600 micromètres.

Les éléments de mise en forme le1, le2 ont pour rôle de mettre en forme les faisceaux optiques (non représentés) issus des voies optiques E1 à E4 et à destination des voies optiques S1 à S4, en faisant une  
25 conjugaison optique entre l'origine des faisceaux optiques issus des voies optiques E1 à E4 (respectivement S1 à S4) et les éléments de déflexion F1 (respectivement F2'). On peut utiliser pour assurer cette conjugaison optique par exemple des lentilles ou  
30 des micro-lentilles.



Les éléments de déflexion F1, F2, F1', F2' peuvent être des miroirs (des micro-miroirs) orientables autour d'un axe, aptes à prendre au moins deux positions angulaires.

5 Les éléments de conjugaison a1, a1' réalisent une conjugaison objet-image souhaitée entre les éléments de déflexion successifs F1, F2 et F1', F2' avec un grossissement approprié. Ces éléments de conjugaison a1, a1' peuvent être par exemple des  
10 lentilles ou des micro-lentilles.

Le module de liaison ML réalise une conjugaison biunivoque entre les différentes positions de déflexion angulaire générées par le premier module de déflexion MDE et les éléments de déflexion F1' du  
15 premier groupe BF1' du second module de déflexion MDS. Un tel module de liaison ML peut être réalisé par exemple par une lentille appropriée, par exemple comme décrit dans les demandes de brevet FR 2 821 681 ou FR 2 821 678.

20 Cette configuration est complexe à réaliser et à utiliser vu le grand nombre d'éléments de déflexion entrant en jeu. Pour quatre voies d'entrée, il y a quatre barrettes BF1, BF2, BF1', BF2' de quatre éléments de déflexion F1, F2, F1', F2' soit seize  
25 éléments de déflexion.

#### EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a justement comme but de proposer un commutateur optique qui ne présente les  
30 inconvénients mentionnés ci-dessus notamment la



complexité de réalisation et d'utilisation ainsi que le coût.

Un but de l'invention est de proposer un commutateur optique simplifié qui soit capable de  
5 commuter en bloc les voix optiques d'au moins une première ligne optique vers les voies optiques d'une seconde ligne optique, cette commutation faisant conserver ou non, aux voix optiques, dans la seconde  
10 ligne optique, le rang qu'elles avaient dans la première ligne optique.

Pour y par venir, la présente invention propose d'introduire dans le commutateur au moins une fonction de sélection entre des faisceaux optiques de lignes différentes ayant un même rang.

15 Plus précisément la présente invention est un commutateur optique destiné à être monté entre des premières lignes optiques comportant chacune une ou plusieurs voies optiques possédant un rang au sein de leur ligne optique et une ou plusieurs secondes lignes  
20 optiques comportant chacune une ou plusieurs voies optiques possédant un rang au sein de leur ligne optique. Le commutateur comporte :

des moyens de sélection comprenant au moins un élément de sélection apte à sélectionner une seule  
25 voie optique parmi un ensemble d'au moins deux voies optiques des premières lignes optiques ou des secondes lignes optiques, les voies optiques de cet ensemble ayant un même rang, l'élément de sélection comportant au moins un élément de déviation tel une lentille  
30 associé à au moins un élément de déflexion tel un miroir apte à prendre plusieurs positions angulaires,

des moyens de connexion aptes à coupler la voie optique sélectionnée à une des voies des secondes lignes optiques ou des premières lignes optiques respectivement.

5           Un tel commutateur est réversible, il fonctionne dans deux sens des premières lignes optiques vers les secondes lignes optiques et/ou vice-versa.

          Parmi ces positions angulaires, l'une des positions est une position de repos située entre deux  
10   positions actives.

          Lorsque l'élément de déviation est une lentille, les voies optiques de l'ensemble peuvent être placées de sorte que les faisceaux optiques issus desdites voies optiques ont une origine au point focal  
15   objet de la lentille de déviation, l'élément de déflexion étant placé au point focal image de la lentille de déviation.

          Pour des facilités de montage, les éléments de sélection peuvent être regroupés en un ou plusieurs  
20   modules de sélection.

          Chaque module de sélection peut comporter N éléments de sélection mis en parallèle, les éléments de déviation de même que les éléments de déflexion de ces N éléments de sélection étant agencés en barrettes de N  
25   éléments.

          Les moyens de connexion peuvent alors être situés après un module de sélection ou bien entre deux modules de sélection.

          Les moyens de connexion peuvent comporter  
30   au moins une connexion optique en espace libre ou

guidé. La connexion en espace libre peut comprendre au moins une barrette de lentilles.

Dans une variante, les moyens de connexion peuvent comprendre un module de liaison.

5 Dans certaines applications dans lesquelles on est amené à changer le rang des voies d'une ligne après subi la commutation, les moyens de connexion peuvent englober des moyens de commutation point à point. Ces derniers seront moins complexes et moins  
10 coûteux que ceux utilisés par le passé car ils n'agiront pas sur toutes les voies mais seulement sur celles qui sont sélectionnées.

Les moyens de commutation point à point peuvent comporter une cascade avec un premier module de  
15 déflexion, un module de liaison, un second module de déflexion.

Les premier et second modules de déflexion peuvent être réalisés à partir de barrettes similaires à celles utilisées pour la réalisation des modules de  
20 sélection.

La cascade peut être insérée entre un premier module de mise en forme et un second module de mise en forme.

Les premier et second modules de mise en  
25 forme peuvent être réalisés à partir de barrettes similaires aux barrettes d'éléments de déviation utilisées pour la réalisation des modules de sélection.

Dans ces moyens de commutation point à point, un module de déflexion peut comporter un ou  
30 plusieurs éléments de conjugaison entre un ou plusieurs

premiers éléments de déflexion et un ou plusieurs seconds éléments de déflexion.

Les éléments de conjugaison d'un module de déflexion peuvent être agencés en barrette similaire à  
5 une barrette d'éléments de déviation utilisée pour un module de sélection.

Les premier et second éléments de déflexion peuvent être agencés en barrettes similaires aux barrettes d'éléments de déflexion des modules de  
10 sélection.

Pour simplifier encore le commutateur, un ou plusieurs éléments de déflexion d'au moins un module de déflexion des moyens de commutation point à point sont confondus avec un ou plusieurs éléments de  
15 déflexion des moyens de sélection.

Le commutateur peut posséder  $2N$  voies d'entrée et  $N$  voies de sortie, les moyens de sélection comportent alors un module de sélection composé de  $N$  éléments de sélection montés en parallèle, les moyens  
20 de connexion comportent eux un commutateur point à point (MCP)  $N \times N$ , le module de sélection et le commutateur point à point étant réalisés à partir de barrettes de  $N$  lentilles et de barrettes de  $N$  miroirs aptes à prendre au moins deux positions angulaires.

Le commutateur optique peut posséder  $2N$  voies d'entrée et  $2N$  voies de sortie, les moyens de sélection sont alors formés d'un module de sélection d'entrée, d'un module de sélection de sortie et les  
25 moyens de commutation d'un commutateur point à point  $N \times N$  situé entre le module de sélection d'entrée et le  
30 module de sélection de sortie, les modules de sélection

étant composés de  $N$  éléments de sélection montés en parallèle, ces modules de sélection et le commutateur point à point étant réalisés à partir de barrettes de  $N$  lentilles et de barrettes de  $N$  miroirs aptes à prendre  
5 au moins deux positions angulaires.

La présente invention concerne également un commutateur optique possédant  $2N$  voies d'entrée et  $N$  voies de sortie. Il peut comporter des moyens de sélection formés d'un module de sélection composé de  $N$   
10 éléments de sélection montés en parallèle, des moyens de connexion formés d'un commutateur point à point  $N \times N$ , le module de sélection et le commutateur point à point étant réalisés à partir de barrettes de  $N$  lentilles et de barrettes de  $N$  miroirs aptes à prendre au moins deux  
15 positions angulaires.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à  
20 la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

les figures 1A et 1B (déjà décrites) sont  
25 un exemple de circuit optique de transmission avec circuit de secours utilisant des commutateurs point à point conventionnels et un schéma détaillé d'un des commutateurs point à point conventionnel ;

les figures 2A à 2C montrent un premier  
30 mode de réalisation d'un élément de sélection et les

positions potentielles que peut prendre son élément de déflexion ;

les figures 3A à 3C montrent un second mode de réalisation d'un élément de sélection ;

5 les figures 4A, 4B, 4C montrent respectivement un schéma de principe d'un commutateur selon l'invention apte à remplacer un des commutateurs SW1, SW2 de la figure 1A, et deux modes de réalisation d'un tel commutateur ;

10 la figure 5A est un exemple de circuit optique avec ligne principale et ligne de secours et deux commutateurs point à point conventionnels destinés à commuter les voies de la ligne principale vers les voies de la ligne de secours, le rang des voies  
15 optiques lors de la commutation n'étant pas forcément conservé ;

les figures 5B, 5C, 5D montrent respectivement un schéma de principe d'un commutateur selon l'invention apte à remplacer un des commutateur  
20 de la figure 5A et deux modes de réalisations détaillés du commutateur de la figure 5B ;

la figure 6A est un exemple de circuit optique avec deux commutateurs point à point conventionnels destinés à commuter les voies d'une  
25 ligne optique vers les voies d'une autre ligne optique, le rang des voies optiques lors de la commutation n'étant pas forcément conservé ;

les figures 6B, 6C, 6D montrent respectivement un schéma de principe d'un commutateur selon l'invention apte à remplacer un des commutateur  
30

de la figure 6A et deux modes de réalisations détaillés du commutateur de la figure 6B.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures décrites ci-après portent les mêmes références numériques de façon à  
5 faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Ces différentes possibilités (variantes) doivent être comprises comme n'étant pas forcément exclusives les unes des autres.

10

#### **EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS**

On se réfère maintenant à la figure 2A qui montre un élément de sélection Sel d'un commutateur selon l'invention. L'élément de sélection Sel illustré  
15 est capable de sélectionner une voie 1b choisie parmi plusieurs voies optiques 1a, 1b. Chacune de ces voies optiques 1a, 1b est destinée à véhiculer un faisceau optique respectivement  $\phi 1a$ ,  $\phi 1b$ . L'élément de sélection Sel transmet le faisceau optique  $\phi 1b$  issu de la voie  
20 optique sélectionnée 1b vers un dispositif utilisateur Du.

L'élément de sélection Sel comporte un élément de déviation telle qu'une lentille de déviation 2a (avantageusement une micro-lentille) qui coopère  
25 avec un élément de déflexion 3a apte à prendre au moins deux positions angulaires de déflexion, par rotation autour d'un axe  $Z'$ , ces positions angulaires sont séparées de  $\Delta\theta$ . L'élément de déflexion 3a peut être avantageusement un miroir ou un micro-miroir réalisé  
30 par les techniques de micro-technologie. Les deux voies



optiques 1a, 1b sont placées de sorte que l'origine des faisceaux optiques  $\phi_{1a}$ ,  $\phi_{1b}$  issus des voies optiques 1a, 1b soit au point focal objet de la lentille de déviation 2a. L'élément de déflexion 3a est situé au point focal image de la lentille de déviation 2a. Les faisceaux optiques  $\phi_{1a}$ ,  $\phi_{1b}$  issus des voies optiques 1a, 1b sont excentrés par rapport à l'axe optique X' de la lentille de déviation 2a. Cet axe X' est représenté en pointillés. Après avoir traversé la même lentille de déviation 2a, les faisceaux optiques  $\phi_{1a}$ ,  $\phi_{1b}$  présentent une déviation angulaire  $\delta\alpha$  par rapport à l'axe optique X', ils convergent en un même point de l'élément de déflexion 3a. Les voies optiques peuvent être des fibres optiques, l'espace libre ou même des sources optiques par exemple des diodes laser.

Pour des petits angles  $\delta\alpha$ , on peut écrire :

$\delta\alpha = d/F_{2a}$  avec d distance séparant les centres des voies optiques 1a, 1b et  $F_{2a}$  focale de la lentille de déviation 2a.

Si  $\delta\alpha$  est bien choisi, suivant la position angulaire de l'élément de déflexion 3a, un seul faisceau optique  $\phi_{1b}$  issu d'une des voies optiques 1a, 1b sera dirigé, après déflexion sur l'élément de déflexion 3a, suivant l'axe optique X' de l'élément de sélection Sel et il pourra atteindre le dispositif utilisateur Du. L'axe optique X' de l'élément de sélection 3a correspond d'un côté à l'axe optique de la lentille de déviation 2a et de l'autre au même axe optique ayant été défléchi par l'élément de déflexion 3a en position de repos au milieu entre les deux positions angulaires. Dans cet exemple, l'axe optique

X' en sortie de la lentille de déviation 2a fait un angle de  $45^\circ$  avec l'élément de déflexion 3a. L'autre faisceau optique  $\phi_{1a}$  qui n'est pas sélectionné sera fortement dévié et ne pourra atteindre le dispositif utilisateur Du. En changeant l'inclinaison de l'élément de déflexion 3a, c'est l'inverse qui se produit, c'est l'autre faisceau optique  $\phi_{1a}$  qui est sélectionné. L'inclinaison de l'élément de déflexion 3a permet ainsi de sélectionner un faisceau optique plutôt qu'un autre et donc de sélectionner une voie optique plutôt qu'une autre.

Lorsque les deux faisceaux optiques  $\phi_{1a}$ ,  $\phi_{1b}$  forment un plan (hachuré sur la figure 2B) qui est perpendiculaire à l'axe de rotation de l'élément de déflexion 3a, on a simplement  $\delta\alpha = 2 \Delta\theta$ . Cette configuration est illustrée à la figure 2B.

Lorsque le faisceau optique qui est sélectionné  $\phi_{1a}$  ou  $\phi_{1b}$  et la perpendiculaire à l'élément de déflexion 3a forment un plan (hachuré sur la figure 2C) qui contient l'axe de rotation Z' de l'élément de déflexion 3a, on a  $\delta\alpha = K \Delta\theta$  avec  $K = 2^{1/2}$  dans le cas d'une incidence  $\psi$  des faisceaux optiques  $\phi_{1a}$ ,  $\phi_{1b}$  égale à  $45^\circ$ . Cette configuration est illustrée sur la figure 2C.

Les faisceaux optiques  $\phi_{1a}$ ,  $\phi_{1b}$  issus des voies optiques 1a, 1b peuvent être assimilés à des faisceaux gaussiens. Ces faisceaux gaussiens ont la propriété de rester gaussien au cours d'une succession de conjugaisons optiques. Leur rayon minimum appelé couramment « waist » (resserrement ou taille en

anglais) détermine les caractéristiques du faisceau optique et en particulier sa divergence.

Au niveau de l'élément de déflection 3a, on a une conjugaison des « waists » des faisceaux issus des voies optiques.

Il est possible d'utiliser un élément de déflection 3a apte à prendre une position angulaire supplémentaire. En plus des deux positions angulaires évoquées plus haut, on utilise une position de repos située au milieu entre les deux positions évoquées plus haut. Cette position de repos pour être utilisée efficacement doit être suffisamment stable.

Dans ce cas, l'élément de sélection assure également une fonction de déflection. Sur la figure 3a, l'élément de déflection 3a est en position de repos, il est orienté à  $45^\circ$  par rapport à l'axe optique  $X'$  de la lentille de déviation 2a. Les faisceaux optiques  $\phi 1a$ ,  $\phi 1b$  issus des voies optiques 1a, 1b après avoir traversé la même lentille de déviation 2a convergent sur un même point de l'élément de déflection 3a et repartent dans des directions  $V1$ ,  $V2$  divergentes, symétriques par rapport à l'axe optique  $X'$ . En plaçant le dispositif d'utilisation (non représenté) dans l'une des directions plutôt que dans l'autre, on sélectionne un des faisceaux optiques  $\phi 1a$  ou  $\phi 1b$ .

On démontre aisément qu'avec un bon accord entre  $\delta\alpha$  et  $\Delta\theta$  (par exemple  $\delta\alpha = \Delta\theta$  dans le cas de la figure 2C), si on modifie l'inclinaison de l'élément de déflection 3a en lui faisant prendre l'une des positions active dite positive (figure 3B) on peut commuter le faisceau optique  $\phi 1b$  de la direction  $V2$  à la direction

V1, en lui faisant prendre l'autre position active dite négative (figure 3C) on commute le faisceau optique  $\phi$ 1a de la direction V1 à la direction V2.

Après avoir expliqué le fonctionnement d'un tel élément de sélection, on va pouvoir décrire un commutateur selon l'invention. On se réfère aux figures 4A, 4B.

La figure 4A donne un schéma de principe d'un commutateur selon l'invention, capable de commuter en bloc les voies de la ligne optique A sur la ligne optique B et donc apte à remplacer le commutateur SW1 de la figure 1A. Il s'agit d'un commutateur à 8 entrées et 8 sorties. Il pourrait également remplacer le commutateur SW2 de la figure 1A à cause de la réversibilité.

Le commutateur est monté entre P premières lignes optiques L1 et L2 (ici P=2) et Q secondes lignes optiques L1' et L2' (ici Q=2). Les premières lignes optiques L1 et L2 regroupent chacune R (ici R=4) voies optiques référencées G11 à G14 pour la ligne L1 et G21 à G24 pour la ligne L2. R représente le rang que possède une voie optique au sein de sa ligne optique. Les secondes lignes optiques L1' et L2' regroupent chacune S (ici S=4) voies optiques référencées G11' à G14' pour la ligne L1' et G21' à G24' pour la ligne L2'. S représente le rang que possède une voie optique au sein de sa ligne optique. Dans l'exemple, les premières lignes sont des lignes d'entrée et les secondes lignes des lignes de sortie. L'inverse serait possible, le commutateur est parfaitement réversible.

Le commutateur objet de l'invention comporte des moyens de sélection MS d'au moins une voie optique, formés d'un ou plusieurs éléments de sélection Sel. Chaque élément de sélection Sel peut être conforme à celui de la figure 2a. Chacun des éléments de sélection Sel est couplé à plusieurs voies optiques (par exemple G11 et G21 pour l'élément de sélection référencé Sel de gauche ou G11' ou G21' pour l'élément de sélection référencé Sel de droite). Ces voies optiques appartiennent à des lignes optiques L1, L2 ou L1', L2' différentes, mais elles possèdent un même rang au sein de leur ligne respective. Le rang est matérialisé ici par leur second indice et vaut 1 dans le présent exemple. Chacun des éléments de sélection Sel sélectionne une seule des voies optiques avec lesquelles il est couplé.

Dans l'exemple de la figure 4A, les moyens de sélection MS se décomposent en un premier module de sélection MSe avec un ou plusieurs éléments de sélection et un second module de sélection MSs avec un ou plusieurs éléments de sélection. Dans l'exemple, le premier module de sélection MSe est considéré comme un module d'entrée et le second module de sélection MSs est considéré comme un module de sortie.

Le commutateur objet de l'invention comporte également des moyens de connexion MC aptes à relier la voie optique sélectionnée par exemple G11 ou G11' à une des voies des Q secondes lignes optiques L1' ou L2' ou des P premières lignes optiques L1, L2 respectivement. Les moyens de connexion MC sont insérés entre les deux modules de sélection MSe, MSs.

Les moyens de connexion MC peuvent être formés par une ou plusieurs simples connexions optiques en espace libre. Il suffit de mettre en coïncidence deux à deux les éléments de sélection Sel du premier module de sélection MSe avec les éléments de sélection Sel du second module de sélection MSs. En variante, les moyens de connexion MC peuvent être formés par une ou plusieurs connexions optiques en espace guidé et être formées par exemple de fibres optiques joignant les sorties du premier module de sélection MSe aux entrées du second module de sélection MSs.

Avec un tel commutateur qualifié d'hybride puisqu'il remplit des fonctions de sélection, les voies optiques G11 à G14 de la première ligne L1 peuvent être couplées en bloc avec les voies optiques G21' à G24' de la seconde ligne optique L2' après une double sélection. Un tel commutateur est beaucoup plus simple de réalisation que le commutateur 8x8 conventionnel SW1 de la figure 1B.

On va maintenant s'intéresser à la figure 4B qui illustre en détails un commutateur selon l'invention, similaire à celui de la figure 4A.

Dans cet exemple, le premier module de sélection MSe comporte un ou plusieurs éléments de déviation l1 associés à un ou plusieurs d'éléments de déflexion  $\mu m1$  configurés comme sur la figure 2A. Les éléments de déflexion  $\mu m1$  sont aptes à prendre deux positions angulaires. Les éléments de déviation l1 et les éléments de déflexion  $\mu m1$ , au nombre de quatre dans cet exemple, sont agencés avantageusement en barrettes référencées respectivement B11 et B $\mu m1$ . De manière

similaire, le second module de sélection MSs comporte un ou plusieurs éléments de déviation  $l1'$  agencés en barrette  $B11'$  associés à un ou plusieurs éléments de déflexion  $\mu m1'$  agencés en barrette  $B\mu m1'$ . Les moyens de connexion MC sont formés par une ou plusieurs lentilles 12 (dans l'exemple quatre) agencées en barrette  $B12$ . Les lentilles 12 des moyens de connexion MC peuvent être des lentilles de mise en forme qui servent à conjuguer les différents faisceaux optiques qui les traversent et assurer leur parallélisme. Chacune de ces lentilles 12 de mise en forme image le « waist » du faisceau optique transmis par la voie sélectionnée sur l'élément de déflexion  $\mu m1$  du premier module de déflexion  $B\mu m1$  à celui présent sur l'élément de déflexion  $\mu m1'$  correspondant du second module de déflexion  $B\mu m1'$ .

En choisissant astucieusement les positions angulaires des éléments de déflexion  $\mu m1$  et  $\mu m1'$  des modules de déflexion  $B\mu m1$  et  $B\mu m1'$ , il est possible de commuter en bloc, sans changer leur rang, les voies  $G11$  à  $G14$  ou  $G21$  à  $G24$  d'une des premières lignes  $L1$  ou  $L2$  vers celles  $G11'$  à  $G14'$  ou  $G21$  à  $G24'$  d'une des secondes lignes  $L1'$  ou  $L2'$  et vice versa. Un tel commutateur hybride  $8 \times 8$  est extrêmement simple et compact, il ne comprend que deux barrettes de quatre éléments de déflexion. Pour mémoire, dans un commutateur classique  $8 \times 8$ , basé sur le schéma du commutateur de la figure 1B, il faudrait utiliser 6 barrettes d'éléments de déflexion et de lentilles à 8



éléments. Le présent commutateur lui n'utilise que 2 barrettes à 4 éléments.

La figure 4C illustre un commutateur selon l'invention dérivé de celui représenté à la figure 4B, il est plus compact et comprend moins de composants que celui de la figure 4B. Le commutateur comporte toujours des moyens de sélection MS se décomposant en un premier module de sélection MSe et un second module de sélection MSs en cascade, ces moyens de sélection coopérant avec des moyens de connexion MC. Le premier module de sélection MSe est matérialisé par des éléments 11 de déviation (par exemple des lentilles ou des micro-lentilles) agencés en barrette B11 et des éléments de déflexion  $\mu m1.1$  agencés en barrette B $\mu m1.1$ . Le second module de sélection MSs est matérialisé par des éléments de déviation 11' (par exemple des lentilles ou des micro-lentilles) agencés en barrette B11' et des éléments de déflexion  $\mu m1.1$  agencés en barrette B $\mu m1.1$ . Dans cet exemple simplifié, les éléments de déflexion  $\mu m1.1$  sont communs au premier module de sélection MSe et au second module de sélection MSs. Dans cet exemple de réalisation, les éléments de déflexion  $\mu m1.1$  seront aptes à prendre plusieurs positions angulaires parmi lesquelles une position milieu de repos. Chaque élément de déflexion peut être similaire à celui illustré aux figures 3A à 3C.

Les moyens de connexion MC se décomposent en des premiers moyens de connexion Mc1 matérialisés par les éléments de déviation 11 et en des seconds

moyens de connexion Mc2 matérialisés par les éléments de déviation 11'.

On comprend que lorsque les éléments de déflexion  $\mu m1.1$  sont au repos, on obtient le fonctionnement suivant : les signaux véhiculés par les voies G11 à G14 de la ligne L1 sont orientés vers les voies G21' à G24' de la ligne L2' et les signaux véhiculés par les voies G21 à G24 de la ligne L2 sont orientés en bloc vers les voies G11' à G14' de la ligne L1'. Les commutations sont simultanées entre les lignes L1-L2' et L2-L1'.

Lorsque les éléments de déflexion  $\mu m1.1$  peuvent également prendre une position active positive, les signaux véhiculés par les voies G11 à G14 de la ligne L1 sont alors orientés en bloc vers les voies G11' à G14' de la ligne L1'. D'éventuels signaux véhiculés par les voies G21 à G24 de la ligne L2 sont perdus. Les éléments de déflexion  $\mu m1.1$  peuvent également prendre une position active négative, les signaux véhiculés par les voies G21 à G24 de la ligne L2 sont alors orientés vers les voies G21' à G24' de la ligne L2'. D'éventuels signaux véhiculés par les voies G11 à G14 de la ligne L1 sont perdus.

On va maintenant se pencher sur un second exemple d'application, illustré à la figure 5A, dans lequel un circuit optique de transmission comporte des commutateurs SW1, SW2 de l'art antérieur sous-utilisés. On retrouve à la manière de la figure 1A, deux lignes optiques A, B ayant chacune quatre voies optiques 1 à 4. Ces lignes optiques A, B sont réparties en plusieurs tronçons A1, A2, A3 et B1, B2, B3. Parmi ces tronçons

on distingue un premier tronçon extrême A1, B1, un tronçon intermédiaire A2, B2 et un second tronçon extrême A3, B3. Les lignes optiques A, B coopèrent avec un premier commutateur 8x8 SW1 ainsi qu'avec un second  
5 commutateur 8x8 SW2 en cascade. La ligne optique B est une ligne de secours, elle double la ligne optique A qui est dite principale.

Le premier commutateur SW1 est monté entre le premier tronçon extrême A1 (respectivement B1) et le  
10 tronçon intermédiaire A2 (respectivement B2) de la ligne A (respectivement B). Le second commutateur SW2 est monté entre le tronçon intermédiaire A2 (respectivement B2) et le second tronçon extrême A3 (respectivement B3) de la ligne A (respectivement B).

15 Quatre utilisateurs à U1 à U4 sont reliés, par des bornes d'insertion/extraction B0 appropriées, chacun à une voie de la ligne optique principale A et de la ligne optique de secours B au niveau des tronçons intermédiaires A2, B2. En cas de défaut D sur la ligne  
20 principale A, les signaux véhiculés par la ligne A le contournent en transitant grâce au commutateur SW1 par la voie de secours B avant de retourner grâce au commutateur SW2 sur la voie principale A une fois le défaut D dépassé.

25 La différence avec le cas illustré à la figure 1A est qu'entre les deux commutateurs SW1, SW2, les voies 1 à 4 des tronçons intermédiaires A2, B2 de la ligne principale A et de la ligne de protection B ne sont pas équivalentes à cause des traitements  
30 différents qui peuvent être introduits sur les voies 1 à 4 par les différents utilisateurs U1 à U4.

Le commutateur SW1 doit donc être capable de coupler l'une quelconque des voies du premier tronçon extrême A1 vers l'une quelconque des voies du tronçon intermédiaire A2 de la même ligne optique A ou  
5 vers l'une quelconque des voies du tronçon intermédiaire B2 de la ligne optique de protection B. Cette fonctionnalité est réalisée par le commutateur SW1 point à point employé en dessous de ses capacités. En effet, seules quatre entrées et quatre sorties sont  
10 utilisées en continu. Il en est de même pour le commutateur SW2 qui est également sous-utilisé.

La figure 5B illustre un schéma de principe d'un commutateur selon l'invention capable de se substituer au commutateur SW1 décrit à la figure 5A. Il  
15 serait aussi apte à remplacer le commutateur SW2 puisqu'il est réversible.

Le commutateur comporte comme dans le premier mode de réalisation de la figure 4A, des moyens de sélection MS et des moyens de connexion MC, ces  
20 derniers incluant maintenant des moyens de commutation point à point MCP. Comme précédemment le commutateur est placé entre, d'un côté deux premières lignes optiques L1, L2 et de l'autre deux secondes lignes optiques L1', L2'. Les moyens de sélection sont  
25 similaires à ceux de la figure 4A avec en cascade un premier module de sélection MSe et un second module de sélection MSs. Les moyens de commutation point à point MCP sont insérés entre les deux modules de sélection MSe, MSs.

30 Plus généralement, on réalise un commutateur  $2N \times 2N$  avec les moyens de commutation point

à point MCP qui sont un commutateur point à point de type  $N \times N$  et des moyens de sélection formés d'un premier module de sélection MSe avec  $N$  éléments de sélection en parallèle et d'un second module de sélection MSs avec  $N$  éléments de sélection en parallèle. Les modules de sélection et le commutateur point à point sont réalisés à partir de barrettes de  $N$  lentilles et de barrettes de  $N$  miroirs aptes à prendre au moins deux positions angulaires. Pour réaliser un commutateur  $2N \times 2N$  selon l'enseignement de la demande de brevet FR 2 821 678, il faudrait disposer de barrettes de  $2N$  miroirs et de barrettes de  $2N$  lentilles. On a simplifié grandement la structure en diminuant le nombre d'éléments optiques à nombre de voies constantes ou on a doublé le nombre de voies à nombre d'éléments optiques constant. De ce fait on réalise sur cette figure 5B une version de commutation  $2N \times 2N$  dont la fonctionnalité est intermédiaire entre les commutateurs  $N \times N$  et  $2N \times 2N$  selon l'enseignement de la demande de brevet FR 2 821 678.

On va se référer à la figure 5C qui illustre en détail la structure d'un tel commutateur selon l'invention. Le premier module de sélection MSe comporte un ou plusieurs éléments de sélection formés d'éléments de déviation  $l_1$ , (des lentilles au nombre de quatre dans l'exemple), agencés en barrette  $B_{l_1}$  coopérant avec un ou plusieurs éléments de déflexion  $\mu m_1$  (des miroirs au nombre de quatre) agencés en barrette  $B_{\mu m_1}$ . Le second module de sélection MSs comporte un ou plusieurs éléments de sélection formés d'éléments de déviation  $l_1'$  (ici des lentilles au nombre de quatre) agencés en barrette  $B_{l_1}'$  coopérant

avec un ou plusieurs éléments de déflexion  $\mu m1'$  (des miroirs au nombre de quatre) agencés en barrette  $B\mu m1'$ . Le premier module de sélection MSe est couplé aux lignes L1, L2. Le second module de sélection MSs est  
5 couplé aux lignes L1', L2'.

Entre ces deux modules de sélection MSe et MSs en cascade, se trouvent des moyens de connexion MC incluant des moyens de commutation MCP classiques point à point (dans l'exemple 4x4) similaires à ceux  
10 représentés sur la figure 1B. On a d'ailleurs référencé les différents composants qui forment ces moyens de connexion point à point MCP comme sur la figure 1B à savoir, un premier module de déflexion MDE, un module de liaison ML, un second module de déflexion MDS. Cette  
15 succession de modules de déflexion et de liaison peut être placée entre un premier module de mise en forme Ble1 et un second module de mise en forme Ble2.

Le premier module de déflexion MDE comporte un premier et un second groupes BF1, BF2 de plusieurs  
20 éléments de déflexion F1, F2, (au nombre de quatre) par exemple agencés en barrette, séparés par un ensemble Ba1 de plusieurs éléments de conjugaison optique a1 (au nombre de quatre) agencés par exemple en barrette. Le second module de déflexion comporte un premier et un  
25 second groupes BF1', BF2' de plusieurs éléments de déflexion F1', F2' (au nombre de quatre) par exemple agencés en barrette, séparés par un ensemble Ba1' de plusieurs éléments de conjugaison optique a1' (au nombre de quatre) agencés par exemple en barrette. Les  
30 premier et second modules de mise en forme Ble1 et Ble2 comportent plusieurs éléments de mise en forme le1, le2

(au nombre de quatre) qui peuvent être des lentilles (des micro-lentilles) agencées en barrette. Ces éléments de mise en forme servent également d'éléments de conjugaison image objet.

5                   La figure 5D illustre, à la manière de la figure 4C, un commutateur de même type que celui de la figure 5C mais plus simple et compact, avec moins de composants. On retrouve comme sur la figure 5C en cascade entre les lignes optiques L1, L2 d'une part et  
10 les lignes optiques L1', L2' d'autre part, un premier module de sélection MSe, des moyens de connexion avec des moyens de commutation classiques MCP formés d'un premier module de déflexion MDE, d'un module de liaison ML, d'un second module de déflexion MDS et enfin un  
15 second module de sélection MSs. Par rapport à la configuration de la figure 5C, les premier et second modules de mise en forme sont omis dans les moyens de commutation point à point MCP. On verra pourquoi par la suite. Une autre différence avec la figure 5C est que  
20 les éléments de déflexion F1 du premier groupe BF1 d'éléments de déflexion du premier module de déflexion MDE sont confondus avec les éléments de déflexion  $\mu m1$  du premier module de sélection MSe, ainsi le premier module de mise en forme Ble1 est superflu. De la même  
25 manière, les éléments de déflexion F2' du second groupe BF2' d'éléments de déflexion du second module de déflexion MDS sont confondus avec les éléments de déflexion  $\mu m1'$  du second module de sélection MSs. Le second module de mise en forme Ble2 est superflu. Les  
30 éléments de déflexion  $\mu m1$  et  $\mu m1'$  utilisent la position milieu comme ceux représentés aux figures 3A à 3C.



Cette configuration a comme avantage d'utiliser peu d'éléments de déflexion, cependant elle a un fonctionnement moins performant que la configuration de la figure 5C. Dans certains cas c'est  
5 suffisant. Toutefois, le nombre limité d'éléments de déflexion peut induire des passages de faisceaux optiques non désirés entre des voies optiques non utilisées. Si on utilise le commutateur en couplant la ligne L1 à la ligne L2', il est possible que  
10 simultanément, pour certaines positions angulaires d'éléments de déflexion, un faisceau optique véhiculé par une voie optique de la ligne optique L2 soit dirigé vers une voie optique de la ligne optique L1'. Ces deux lignes optiques n'étant généralement pas utilisées à ce  
15 moment, cela ne devrait pas poser de problème.

On va maintenant s'intéresser à un autre exemple de circuit de commutation dans lequel un commutateur de l'invention est particulièrement avantageux.

20 La figure 6A montre un circuit optique de transmission qui possède un commutateur SW11 8x4 et un commutateur SW22 4x8 point à point, ces commutateurs classiques étant sous-utilisés.

Ce circuit optique possède deux lignes  
25 optiques A, B ayant chacune quatre voies optiques 1 à 4. Ces lignes comportent chacune deux tronçons extrêmes A1, A3 et B1, B3. Les premiers tronçons extrêmes A1, B1 sont reliés au premier commutateur SW11 (au niveau de son entrée). Les seconds tronçons extrêmes A3, B3 sont  
30 reliés au second commutateur SW22 au niveau de sa sortie. Les deux commutateurs SW11, SW22 sont reliés

entre eux par une ligne optique auxiliaire E ayant quatre voies optiques (non référencées). Elle relie la sortie du premier commutateur à l'entrée du second commutateur. Quatre utilisateurs à U1 à U4 sont reliés,  
5 par des bornes d'insertion/extraction BO appropriées, chacun à une voie de la ligne auxiliaire E.

Dans ce circuit, une commutation point à point doit être possible entre l'un des premiers tronçons extrêmes A1, B1 et l'un des seconds tronçons  
10 extrêmes A2, B2 à cause de la présence des bornes d'insertion/d'extraction BO. Mais toutefois la présence de deux commutateurs point à point tels que SW11 ou SW22 n'est pas nécessaire.

On se réfère à la figure 6B qui montre un  
15 schéma d'un commutateur selon l'invention qui peut se substituer au commutateur SW11. Il pourrait également remplacer le commutateur SW22 puisqu'il est réversible.

Il comporte en cascade des moyens de sélection avec un seul module de sélection MS et des  
20 moyens de connexion MC incluant des moyens de commutation point à point MCP. Les moyens de sélection MS sont couplés à deux lignes optiques L1, L2 et aux moyens de connexion MC. Les moyens de connexion sont couplés à une ligne auxiliaire L. Les lignes optiques  
25 L1, L2 comportent chacune quatre voies optiques référencées G11 à G14 et G21 à G24 respectivement (visibles sur la figure 6C). La ligne optique auxiliaire L comporte quatre voies optiques G31 à G34 (visibles sur la figure 6C) .

30 Plus généralement, on réalise un commutateur  $2N \times N$  avec les moyens de commutation point

à point MCP qui sont un commutateur point à point de type  $N \times N$  et des moyens de sélection formés d'un module de sélection MS avec N éléments de sélection en parallèle. Le module de sélection et le commutateur point à point sont réalisés à partir de barrettes de N lentilles et de barrettes de N miroirs aptes à prendre au moins deux positions angulaires. Les mêmes remarques que celles exposées plus haut lors de la description de la figure 5B s'appliquent.

10                    On va maintenant s'intéresser la figure 6C qui illustre en détail la structure d'un tel commutateur selon l'invention.

                  Les moyens de sélection MS comportent un seul module de sélection MS couplé aux lignes L1, L2.

15    Ce module de sélection est similaire à celui MSe de la figure 5C avec à partir des lignes L1, L2, un ou plusieurs éléments de déviation l1 (réalisés par exemple par des lentilles), au nombre de quatre, agencés en barrette B11 suivies d'un ou plusieurs

20    éléments de déflexion  $\mu m1$  (réalisés par exemple par des miroirs), au nombre de quatre, agencés en barrette B $\mu m1$ . Les moyens de connexion MC incluant les moyens de commutation point à point MCP sont similaires à ceux de la figure 1B avec en cascade un module de déflexion

25    d'entrée MDE, un module de liaison ML, un module de déflexion de sortie MDS. Ces moyens de commutation peuvent être placés entre un premier et un second module de mise en forme Ble1, Ble2.

                  On se réfère maintenant à la figure 6D qui

30    montre un commutateur selon l'invention basé sur le même principe que celui de la figure 6C mais simplifié

plus compact et moins coûteux car utilisant moins de composants. Comme précédemment les éléments de déflexion F1 du premier groupe BF1 d'éléments de déflexion du premier module de déflexion MDE sont  
5 confondus avec les éléments de déflexion  $\mu m1$  du module de sélection MS. Les éléments de mise en forme le1 du premier module de mise en forme Ble1 étaient superflus, ils ont été remplacés fonctionnellement par les lentilles de déviation l1 du module de sélection MS.  
10 Les éléments de déflexion  $\mu m1$  utilisent la position milieu comme ceux représentés aux figures 3A à 3C.

Bien que plusieurs modes de réalisation de la présente invention aient été représentés et décrits de façon détaillée, on comprendra que différents  
15 changements et modifications pourront être apportés sans sortir du cadre de l'invention.

**REVENDICATIONS**

1. Commutateur optique destiné à être monté entre des premières lignes optiques (L1, L2) comportant chacune une ou plusieurs voies optiques (G11 à G14, G21 à G24) possédant un rang au sein de leur ligne optique et une ou plusieurs secondes lignes optiques (L1', L2') comportant chacune une ou plusieurs voies optiques (G11' à G14', G21' à G24') possédant un rang au sein de leur ligne optique, caractérisé en ce qu'il comporte :
- 10 des moyens de sélection (MS) comprenant au moins un élément de sélection (Sel) apte à sélectionner une seule voie optique parmi un ensemble d'au moins deux voies optiques des premières lignes optiques (L1, L2) ou des secondes lignes optiques (L1', L2'), les
- 15 voies optiques de cet ensemble ayant un même rang, l'élément de sélection (Sel) comportant au moins un élément de déviation (ll) tel une lentille associé à au moins un élément de déflexion ( $\mu$ m1) tel un miroir apte à prendre plusieurs positions angulaires,
- 20 des moyens de connexion (MC) aptes à coupler la voie optique sélectionnée à une des voies des secondes lignes optiques ou des premières lignes optiques respectivement.
- 25 2. Commutateur optique selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il est réversible.
- 30 3. Commutateur optique selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que l'une des

positions est une position de repos située entre deux positions actives.

4. Commutateur optique selon l'une des  
5 revendications 1 à 3, dans lequel chacune des voies optiques est destinée à véhiculer un faisceau optique ( $\phi_{1a}$ ,  $\phi_{1b}$ ), caractérisé en ce que, lorsque l'élément de déviation est une lentille de déviation (l1), les voies optiques de l'ensemble sont placées de sorte que les  
10 faisceaux optiques issus desdites voies optiques ont une origine au point focal objet de la lentille de déviation, l'élément de déflexion ( $\mu m1$ ) étant placé au point focal image de la lentille de déviation (l1).

15 5. Commutateur optique selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que les éléments de sélection (sel) sont regroupés en un ou plusieurs modules de sélection (MSe, MSs).

20 6. Commutateur optique selon la revendication 5, caractérisé en ce que chaque module de sélection (MSe, MSs) comporte N éléments de sélection mis en parallèle, les éléments de déviation de même que les éléments de déflexion de ces N éléments de  
25 sélection étant agencés en barrettes de N éléments.

7. Commutateur optique selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que les moyens de connexion (MC) sont situés entre deux modules de  
30 sélection (MSe, MSs).

8. Commutateur optique selon l'une des revendications 5 ou 6, caractérisé en ce que les moyens de connexion (MC) sont situés après un module de sélection (MSe).

5

9. Commutateur optique selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les moyens de connexion (MC) comportent au moins une connexion optique en espace libre ou guidé.

10

10. Commutateur optique selon la revendication 9, caractérisé en ce que la connexion en espace libre comprend au moins une barrette de lentilles (Bl2).

15

11. Commutateur optique selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que les moyens de connexion (MC) comprennent un module de liaison (ML).

20

12. Commutateur optique selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que les moyens de connexion (MC) englobent des moyens de commutation point à point (MCP).

25

13. Commutateur optique selon la revendication 12, caractérisé en ce que les moyens de commutation point à point (MCP) comportent une cascade avec un premier module de déflexion (MDE), un module de liaison (ML), un second module de déflexion (MDS).

30



14. Commutateur optique selon les revendications 6 et 13, caractérisé en ce que les premier et second modules de déflexion (MDE, MDS) sont réalisés à partir de barrettes similaires à celles  
5 utilisées pour la réalisation des modules de sélection.

15. Commutateur optique selon l'une des revendications 13 ou 14, caractérisé en ce que la cascade est insérée entre un premier module de mise en  
10 forme (Ble1) et un second module de mise en forme (Ble2).

16. Commutateur optique selon les revendications 6 et 15, caractérisé en ce que les  
15 premier et second modules de mise en forme (Ble1, Ble2) sont réalisés à partir de barrettes similaires aux barrettes d'éléments de déviation utilisées pour la réalisation des modules de sélection.

20 17. Commutateur optique selon l'une des revendications 13 à 16, caractérisé en ce qu'un module de déflexion (MDE, MDS) des moyens de commutation point à point (MCP) comporte un ou plusieurs élément de conjugaison (a1, a1') entre un ou plusieurs premiers  
25 éléments de déflexion (F1, F2) et un ou plusieurs seconds éléments de déflexion (F1', F2').

18. Commutateur optique selon les revendications 6 et 17, caractérisé en ce que les  
30 éléments de conjugaison (a1, a1') d'un module de déflexion sont agencés en barrette similaire à une

barrette d'éléments de déviation utilisée pour un module de sélection.

19. Commutateur optique selon les  
5 revendications 6 et 17, caractérisé en ce que les premier et second éléments de déflexion sont agencés en barrettes similaires aux barrettes d'éléments de déflexion des modules de sélection.

10 20. Commutateur optique selon l'une des revendications 17 à 19, caractérisé en ce qu'un ou plusieurs éléments de déflexion d'au moins un module de déflexion (MDE, MDS) des moyens de commutation point à point (MCP) sont confondus avec un ou plusieurs  
15 éléments de déflexion des moyens de sélection.

21. Commutateur optique selon l'une des revendications 1 à 20, possédant  $2N$  voies d'entrée et  $N$  voies de sortie, caractérisé en ce que les moyens de  
20 sélection (MS) comportent un module de sélection composé de  $N$  éléments de sélection montés en parallèle, et en ce que les moyens de connexion (MC) comportent un commutateur point à point (MCP)  $N \times N$ , le module de sélection et le commutateur point à point étant  
25 réalisés à partir de barrettes de  $N$  lentilles et de barrettes de  $N$  miroirs aptes à prendre au moins deux positions angulaires.

22. Commutateur optique selon l'une des  
30 revendications 1 à 20, possédant  $2N$  voies d'entrée et  $2N$  voies de sortie, caractérisé en ce que les moyens de

sélection (MS) sont formés d'un module de sélection d'entrée (MSe), d'un module de sélection de sortie (MSs) et les moyens de commutation (MC) d'un commutateur point à point (MCP) NXN situé entre le  
5 module de sélection d'entrée (MSe) et le module de sélection de sortie (MSs), les modules de sélection (MSe, MSs) étant composés de N éléments de sélection montés en parallèle, ces modules de sélection et le  
10 commutateur point à point étant réalisés à partir de barrettes de N lentilles et de barrettes de N miroirs aptes à prendre au moins deux positions angulaires.

23. Commutateur optique possédant 2N voies d'entrée et N voies de sortie, caractérisé en ce qu'il  
15 comporte des moyens de sélection (MS) formés d'un module de sélection composé de N éléments de sélection montés en parallèle, des moyens de connexion (MC) formés d'un commutateur point à point (MCP) NXN, le  
module de sélection et le commutateur point à point  
20 étant réalisés à partir de barrettes de N lentilles et de barrettes de N miroirs aptes à prendre au moins deux positions angulaires.

24. Commutateur optique possédant 2N voies  
25 d'entrée et 2N voies de sortie, caractérisé en ce qu'il comporte des moyens de sélection (MS) formés d'un module de sélection d'entrée (MSe), d'un module de sélection de sortie (MSs) et des moyens de commutation (MC) formés d'un commutateur point à point (MCP) NXN  
30 situé entre le module de sélection d'entrée (MSe) et le module de sélection de sortie (MSs), les modules de

sélection (MSe, MSs) étant composés de N éléments de sélection montés en parallèle, ces modules de sélection et le commutateur point à point étant réalisés à partir de barrettes de N lentilles et de barrettes de N miroirs aptes à prendre au moins deux positions angulaires.

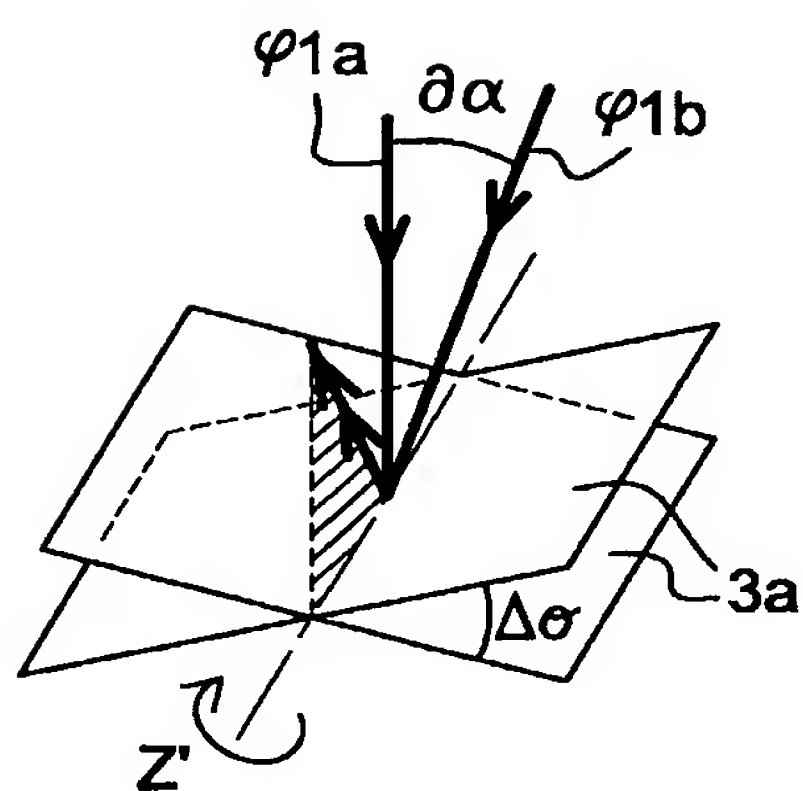
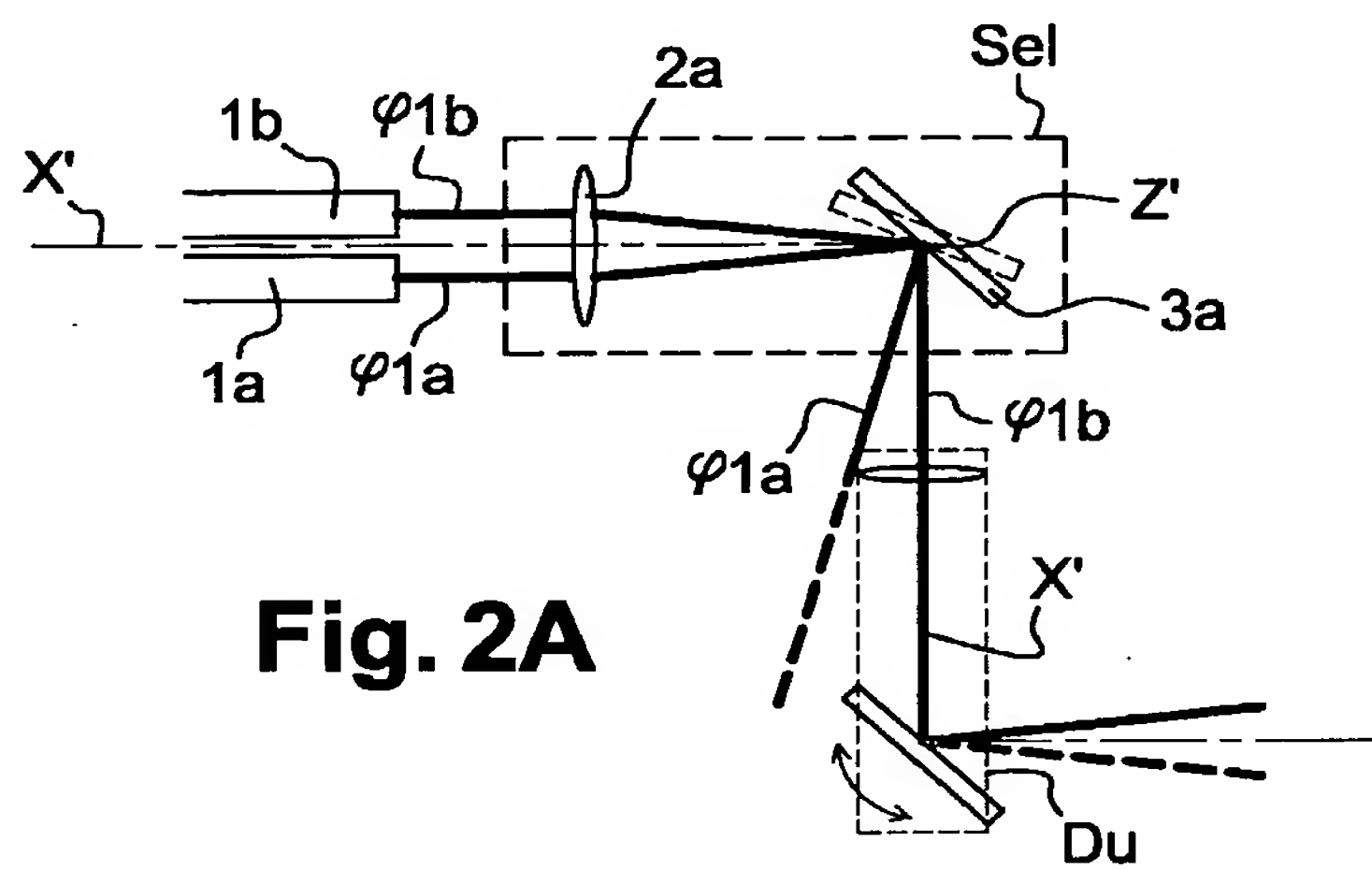
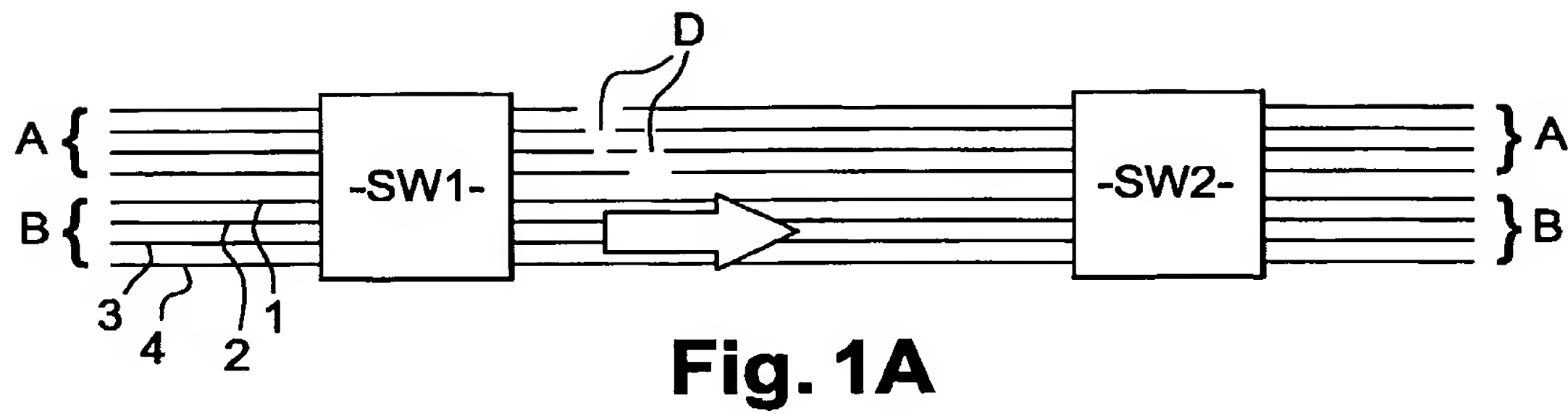


Fig. 2C

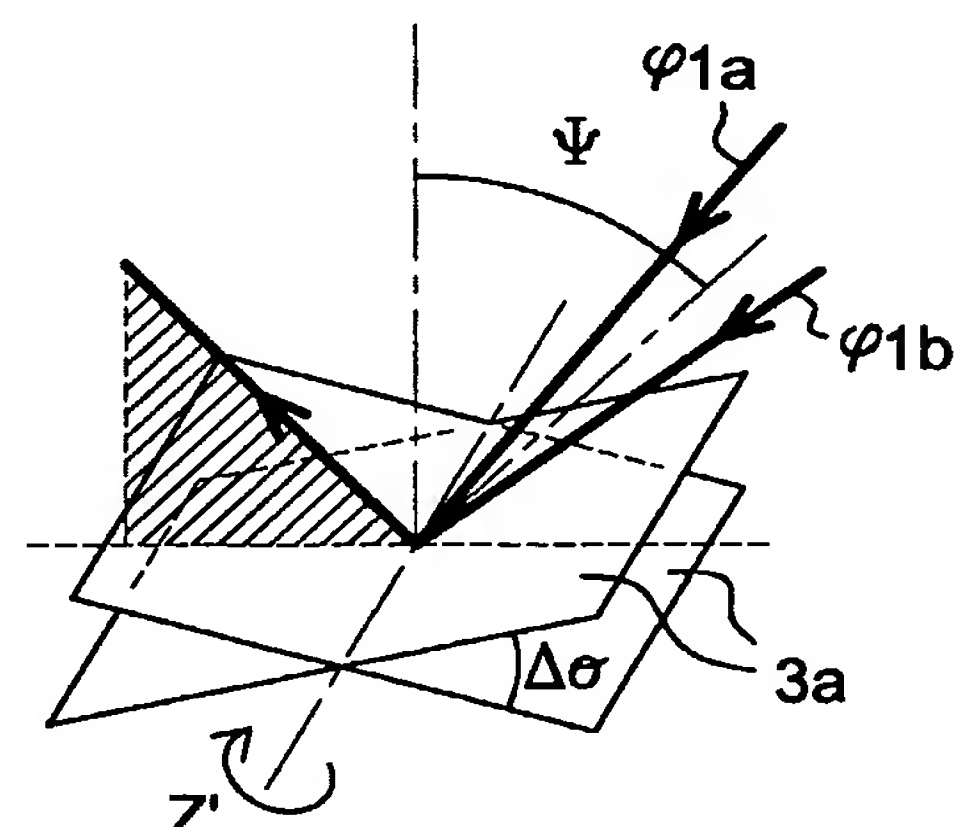


Fig. 2B

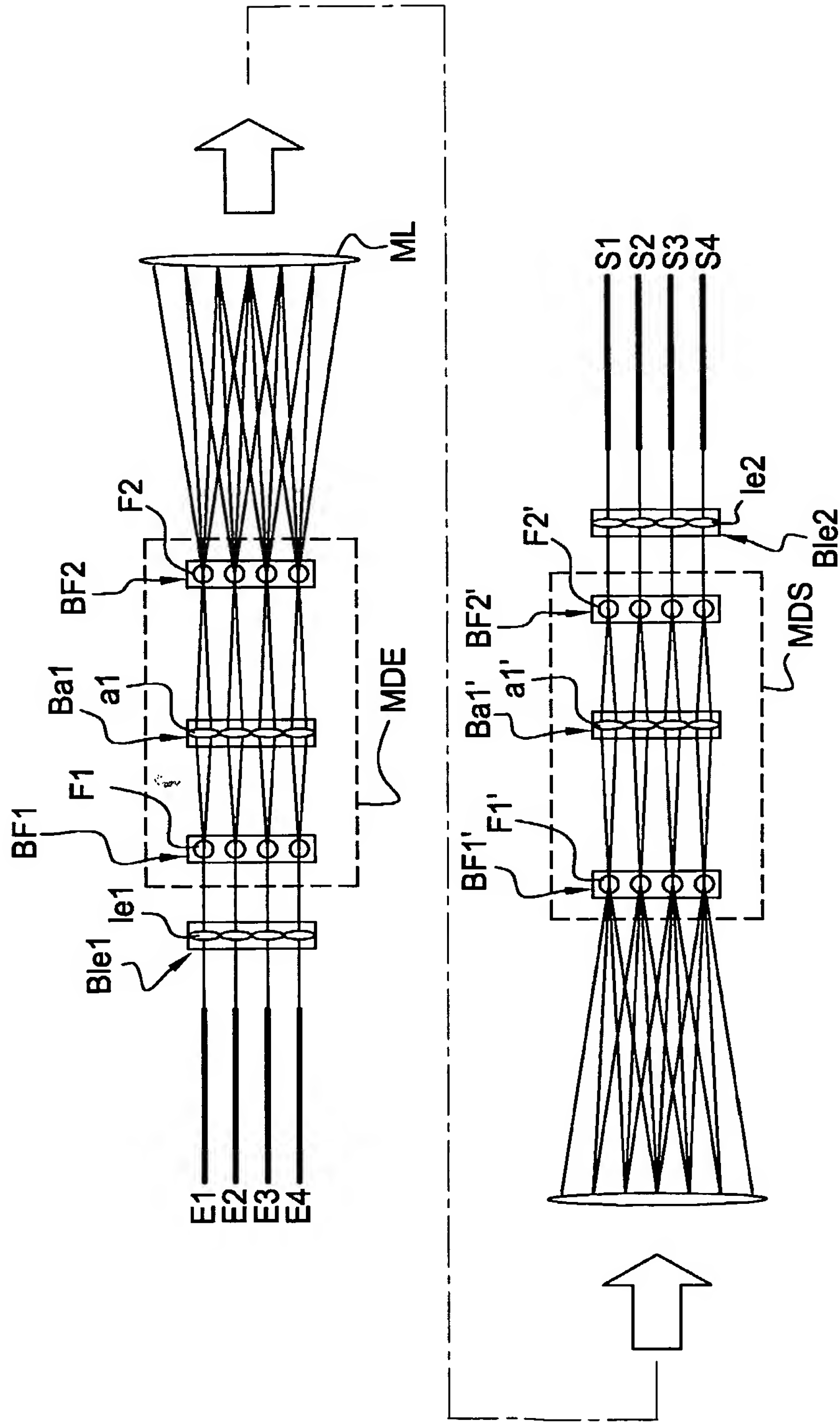
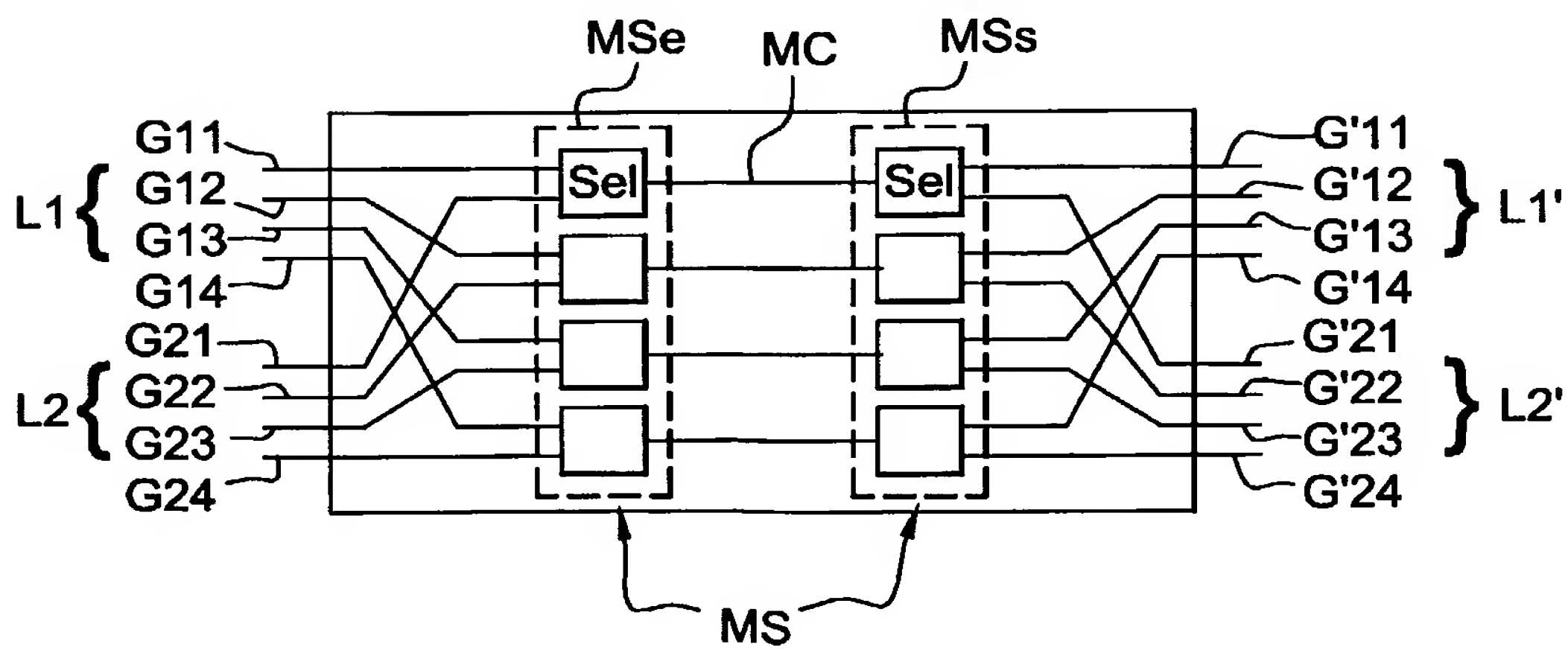
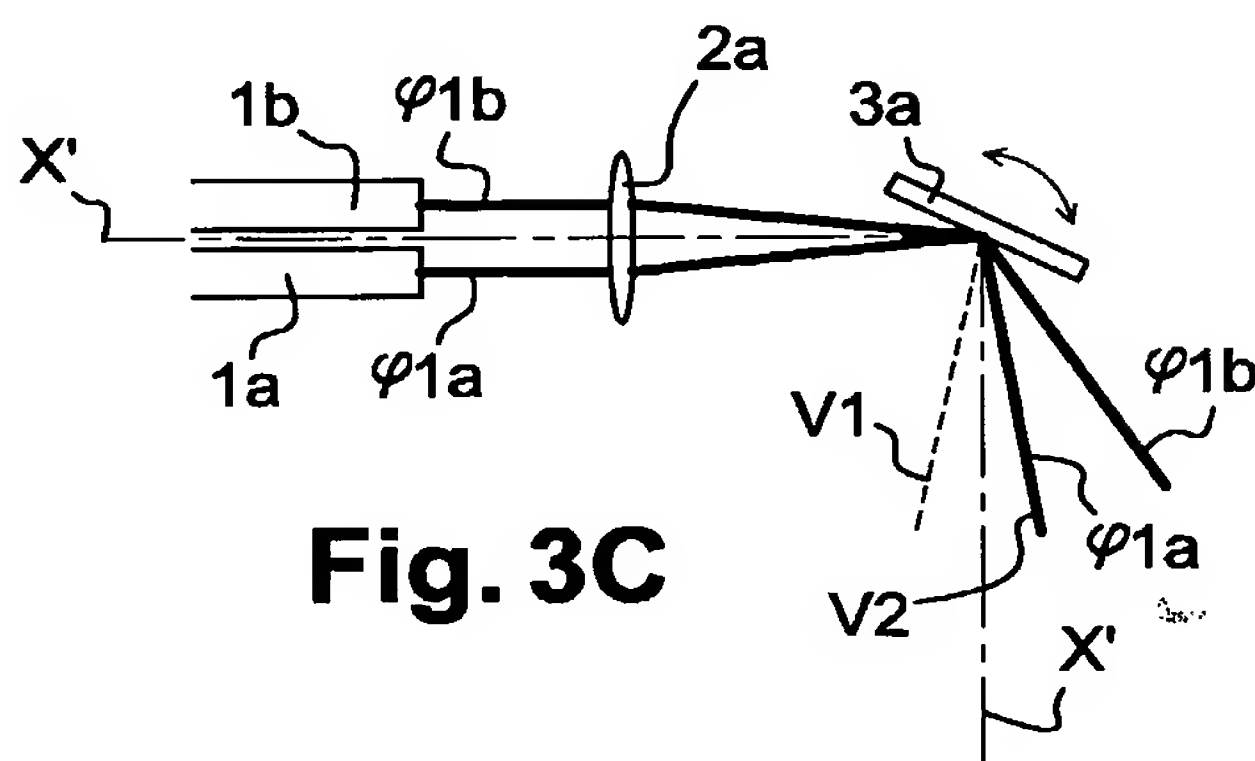
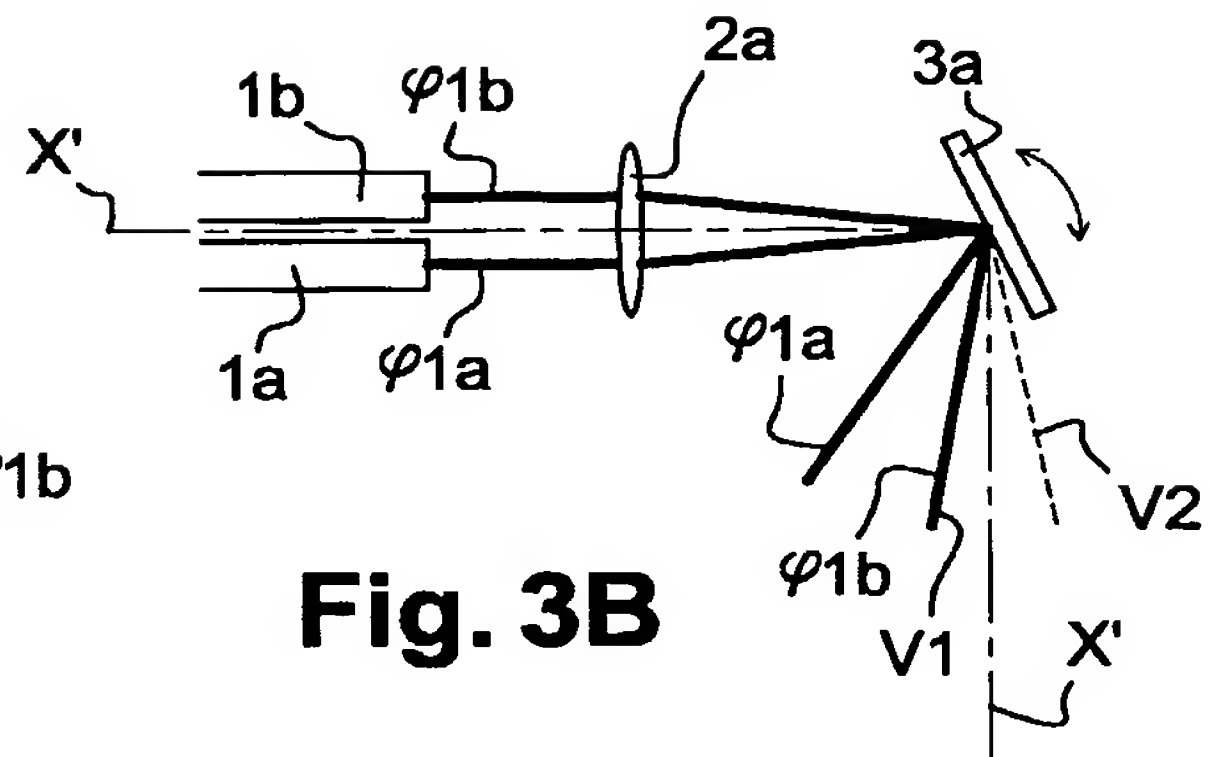
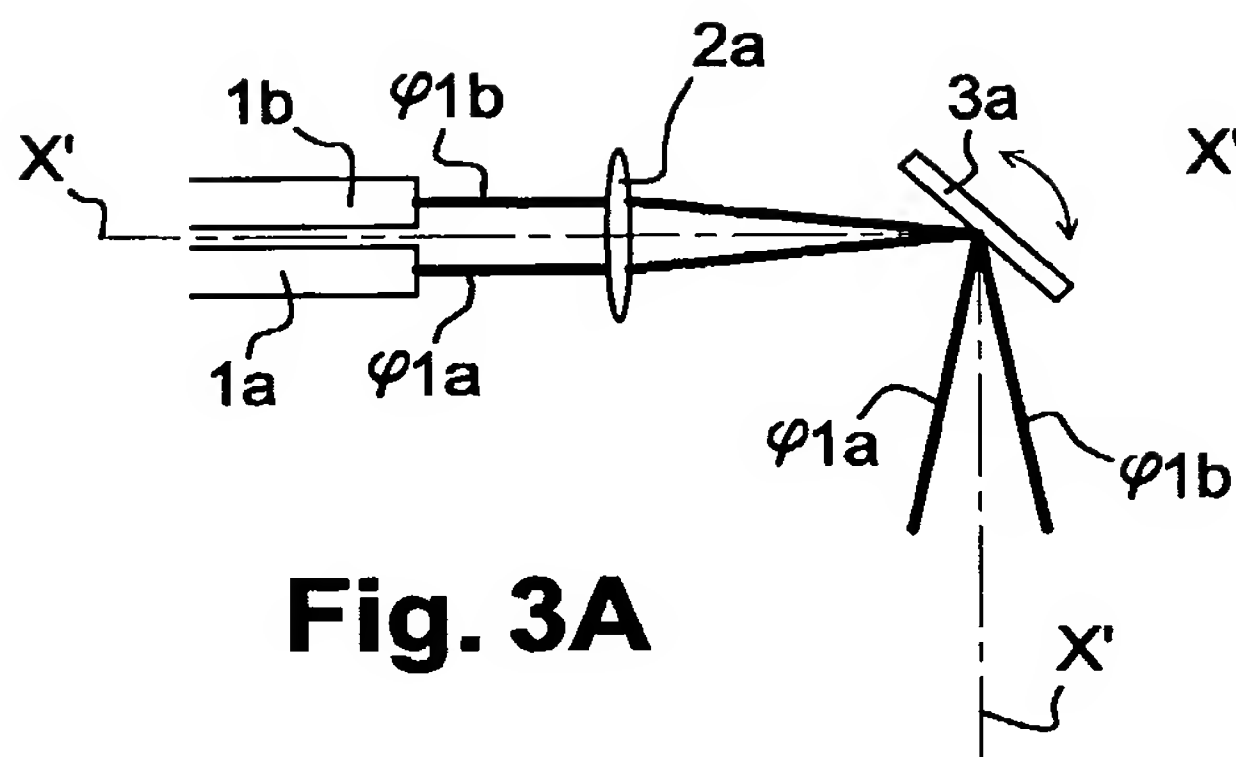
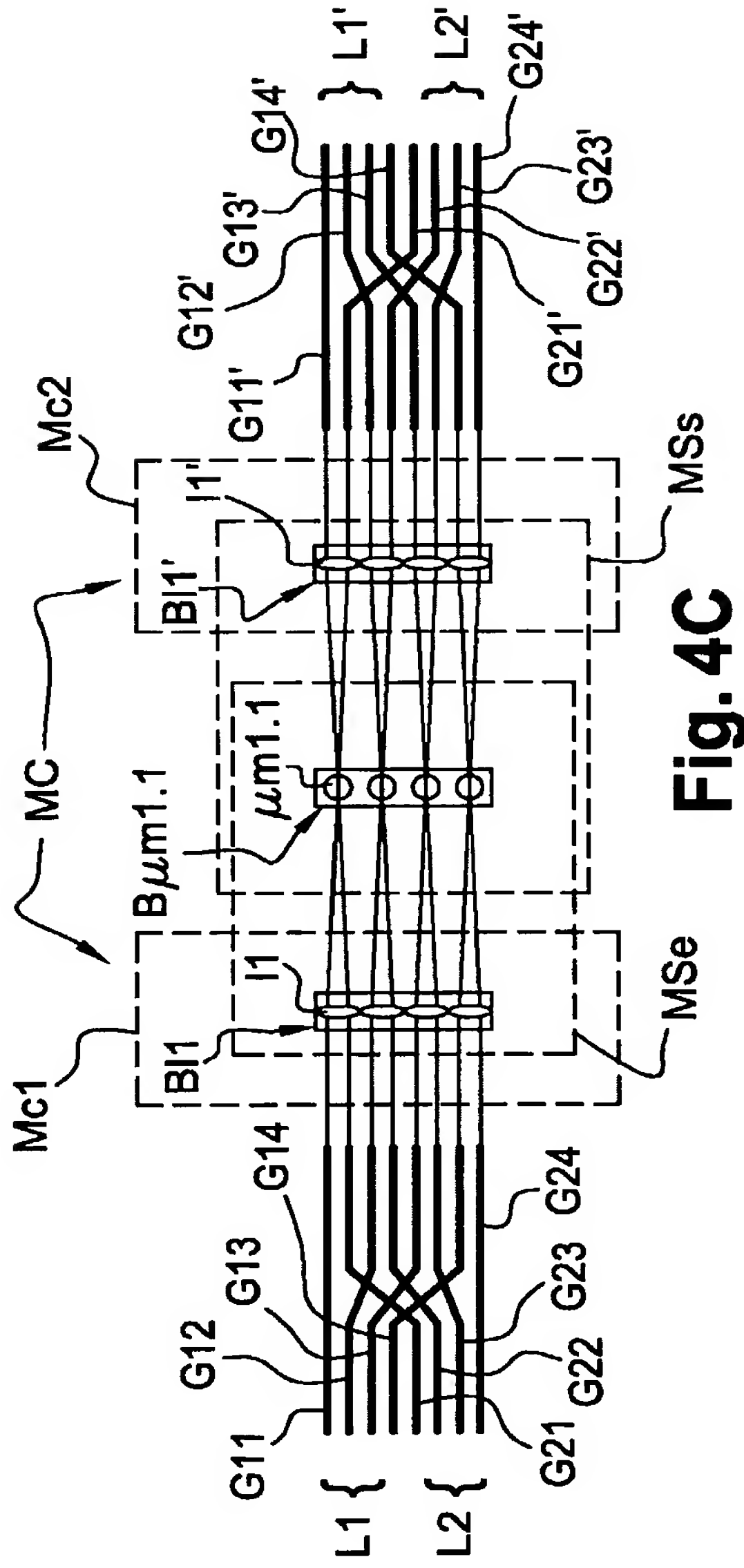
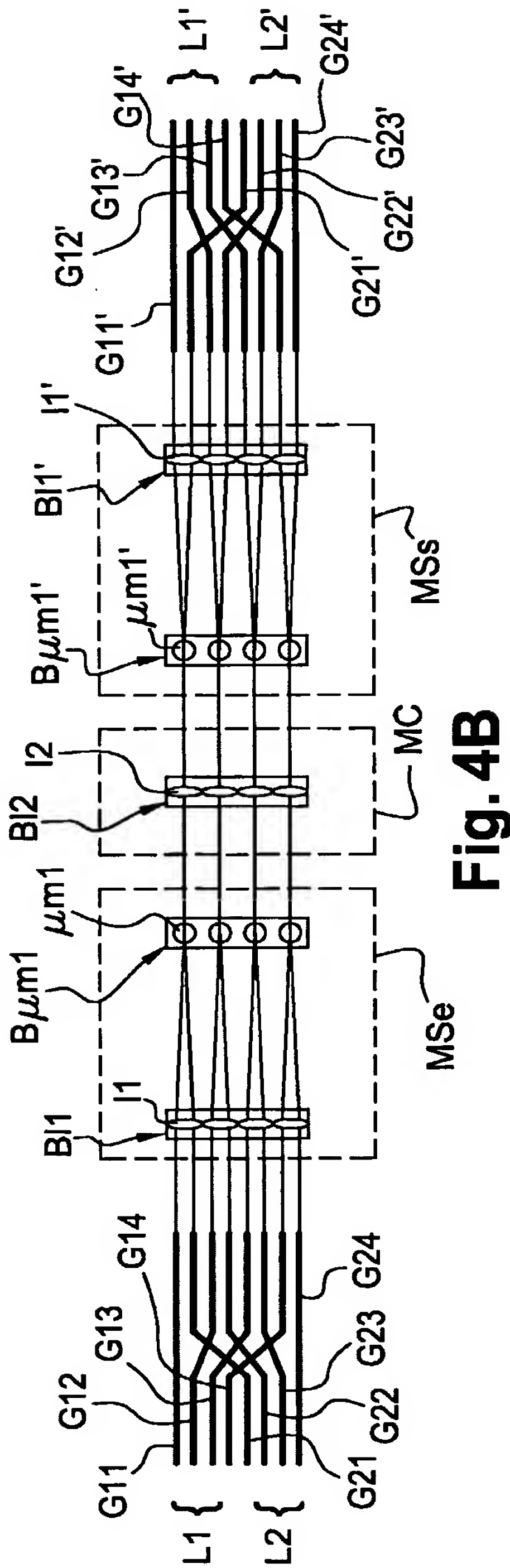


Fig. 1B

3 / 10







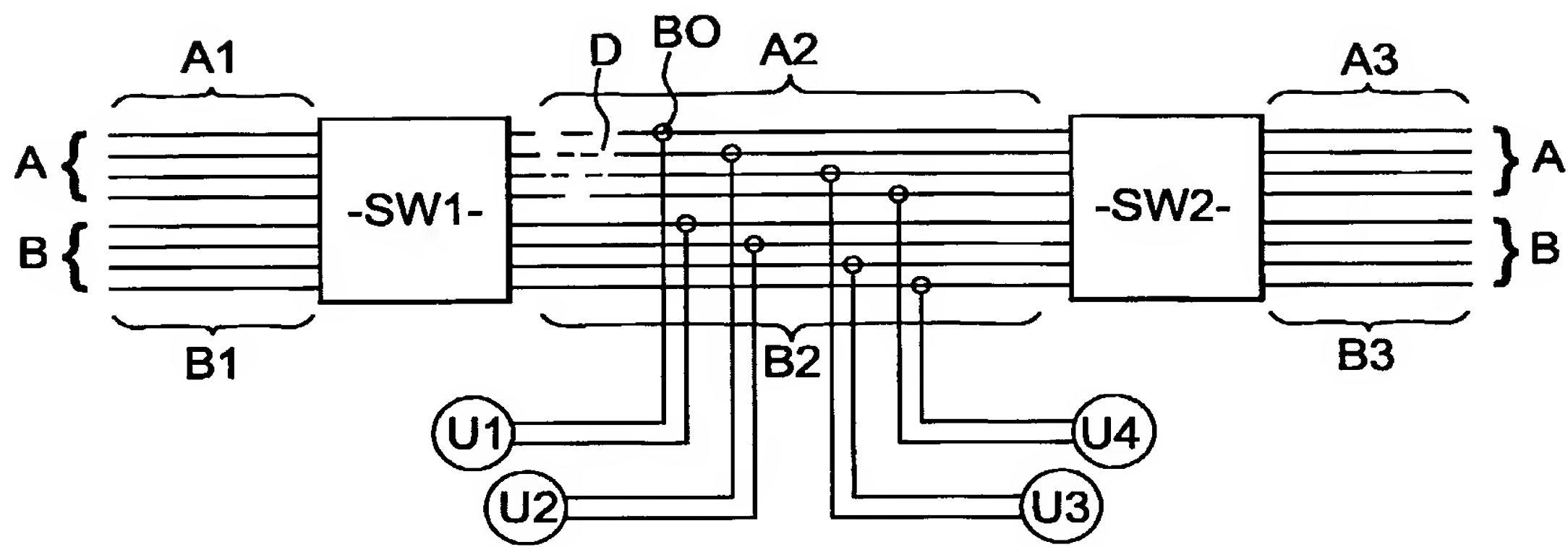


Fig. 5A

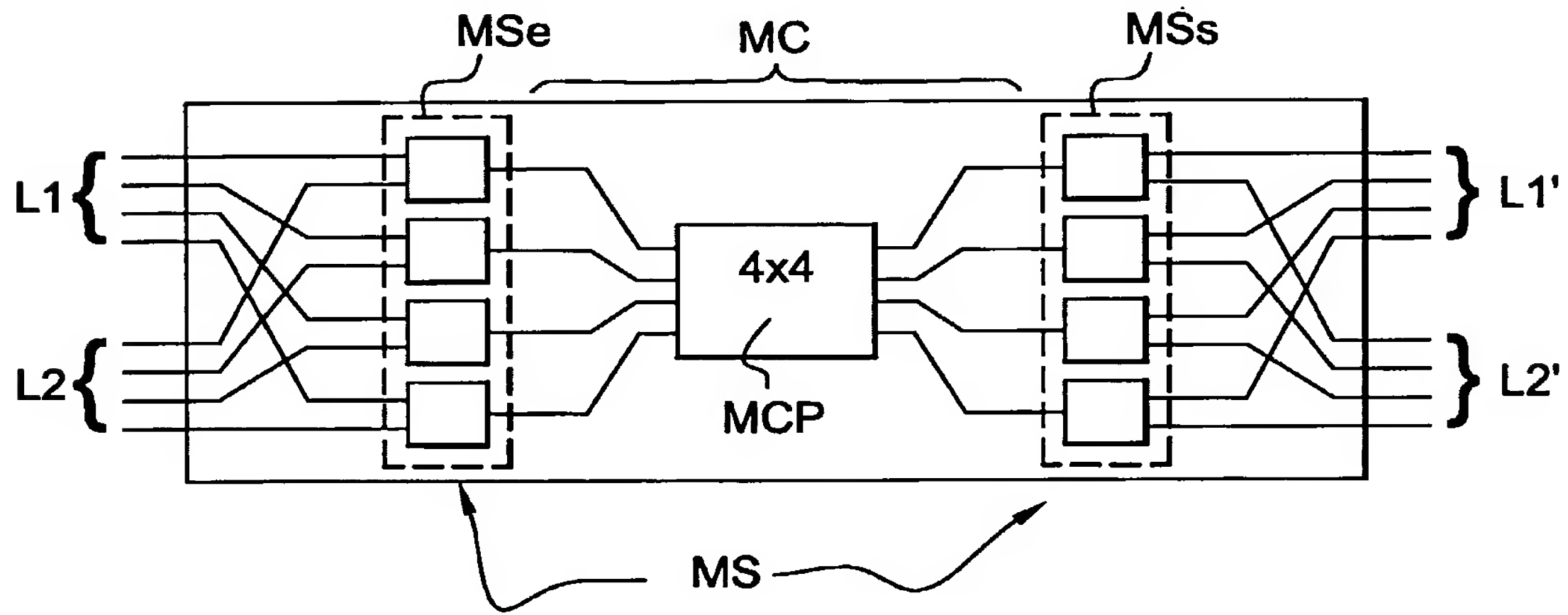


Fig. 5B

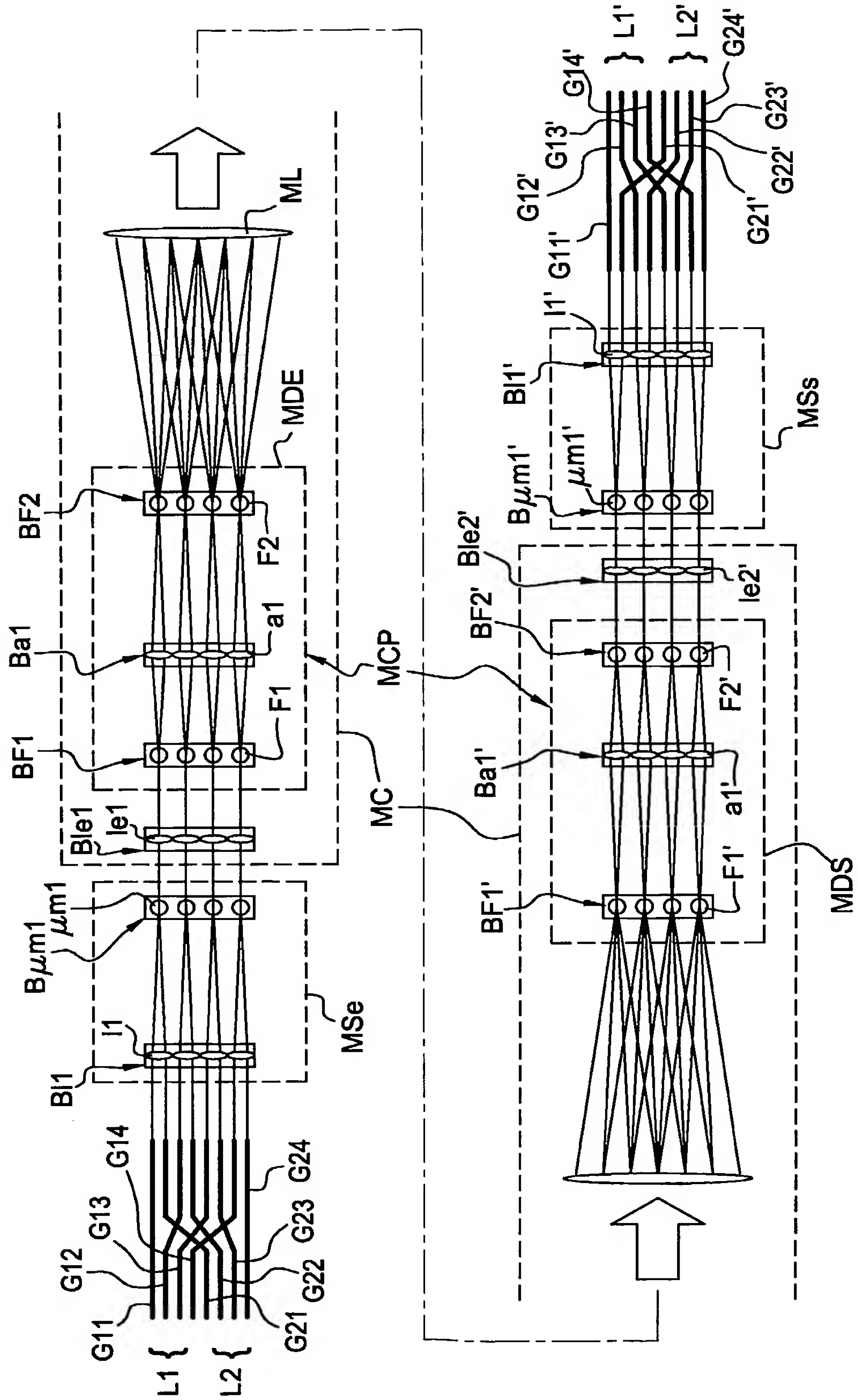
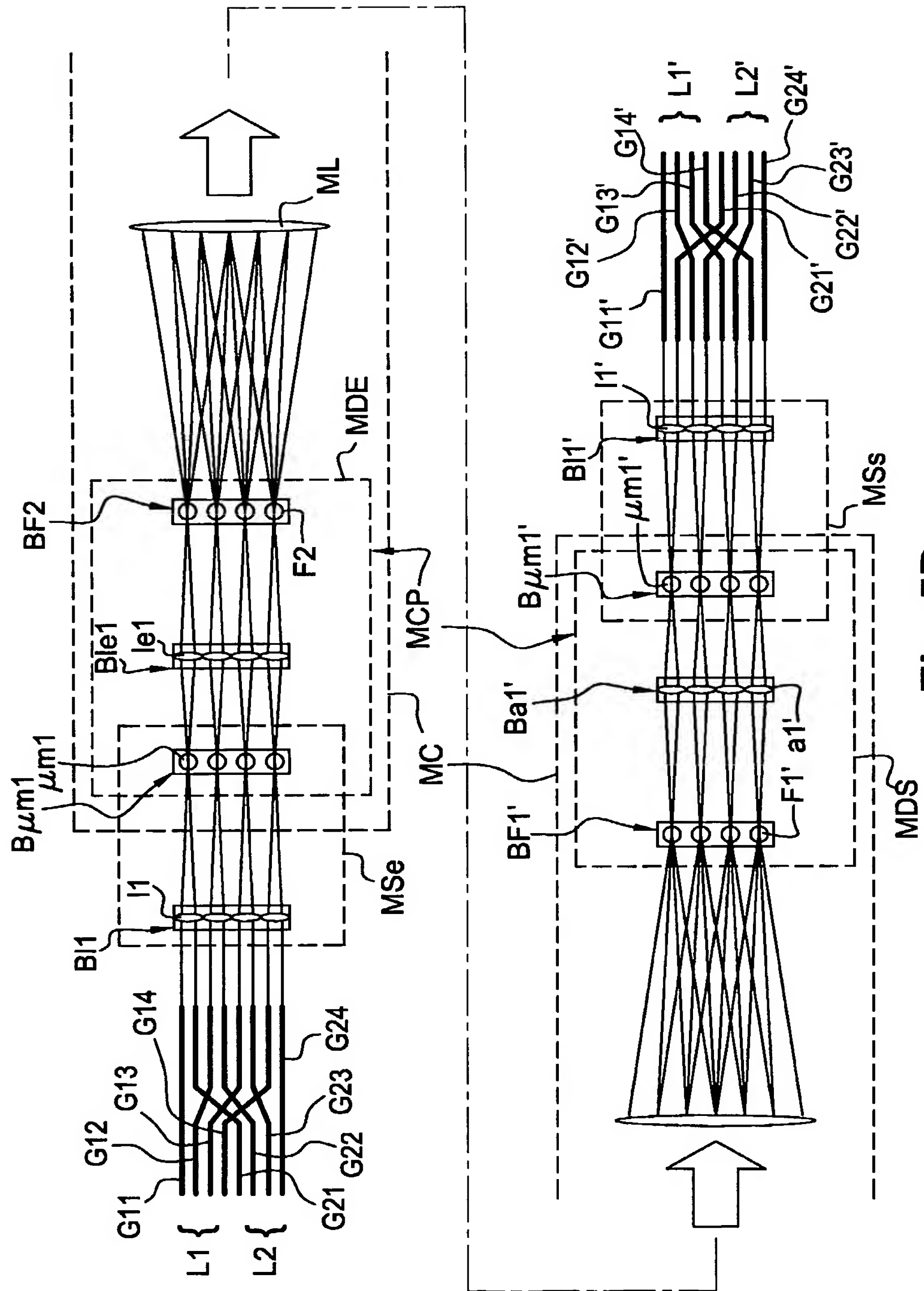


Fig. 5C



**Fig. 5D**

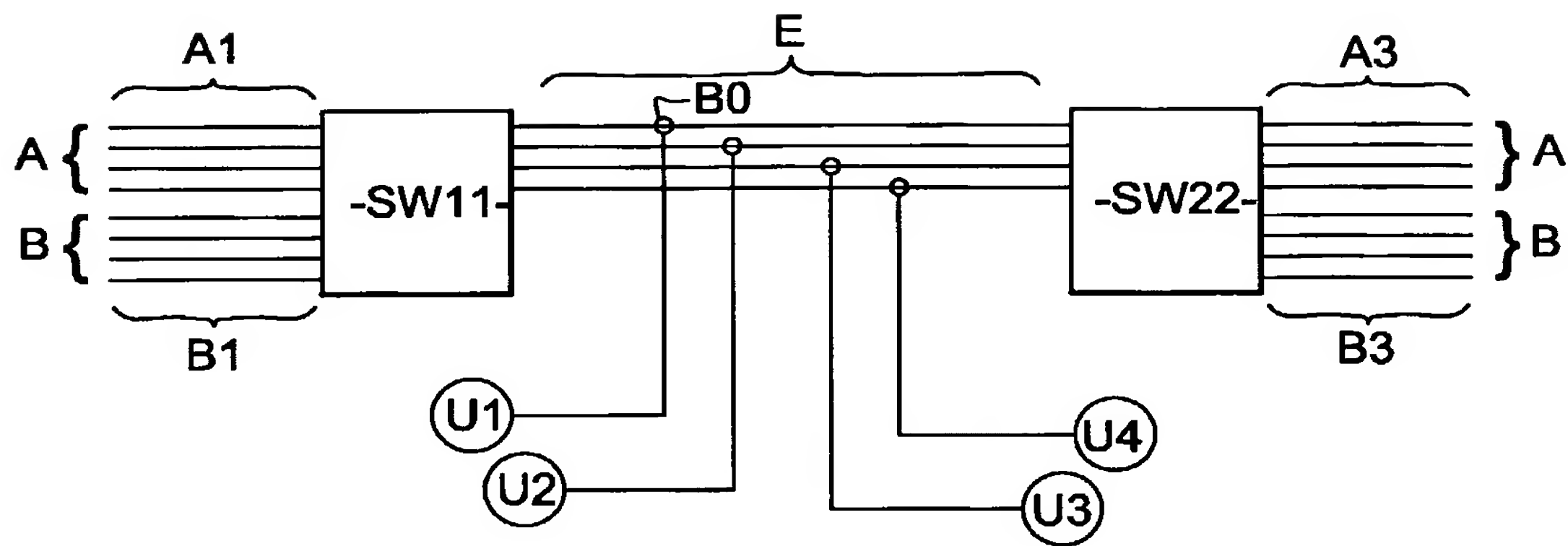


Fig. 6A

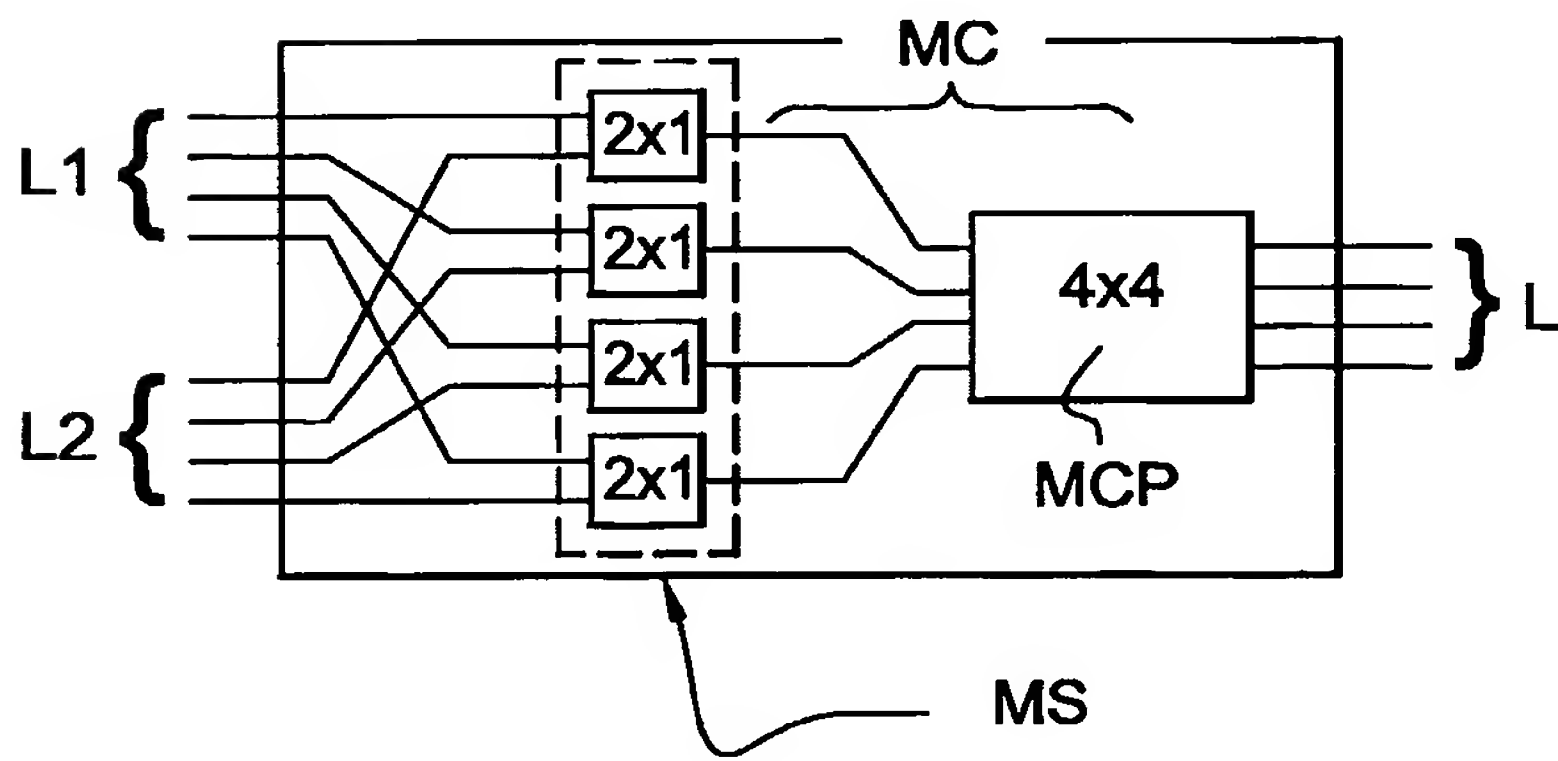
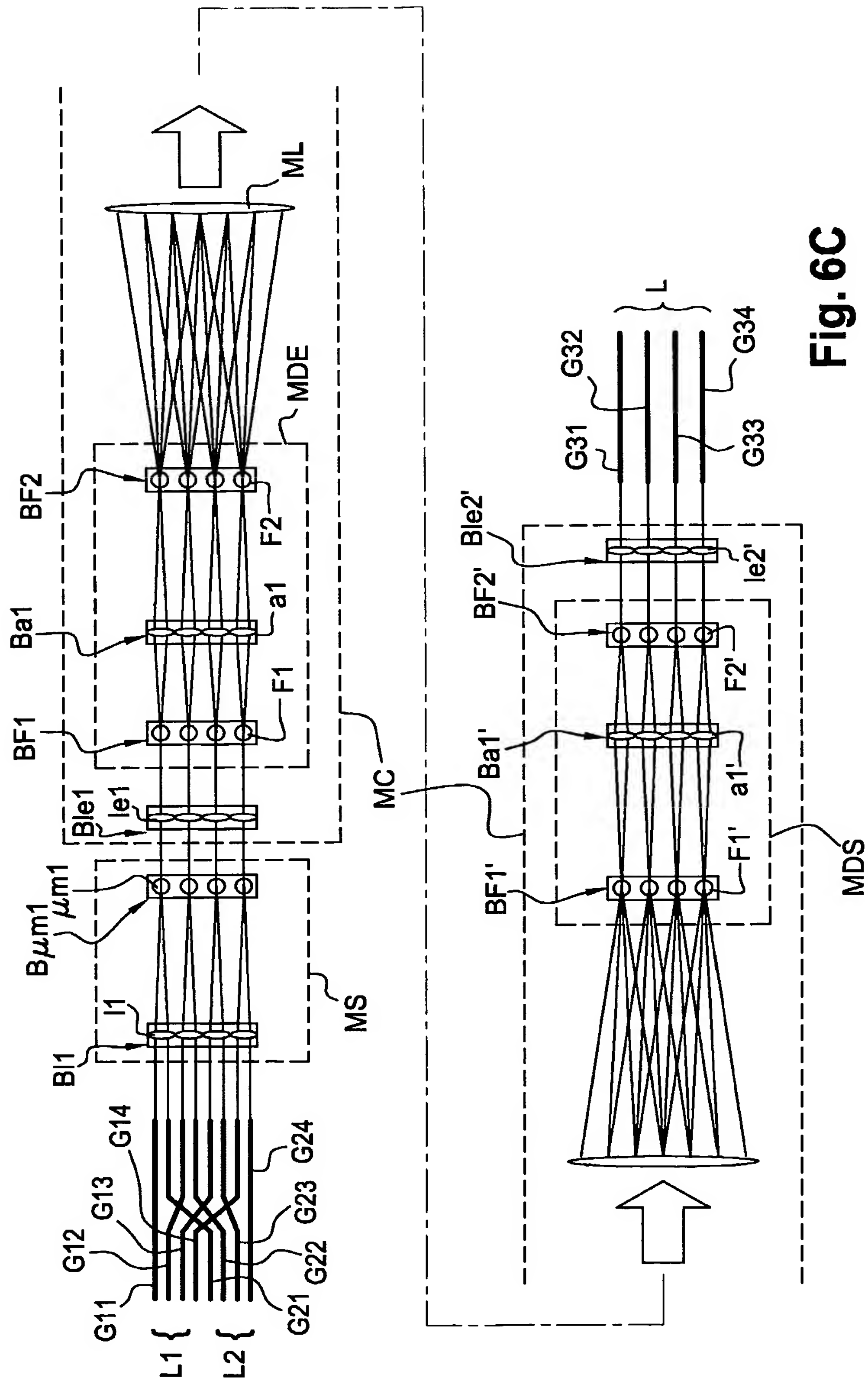


Fig. 6B



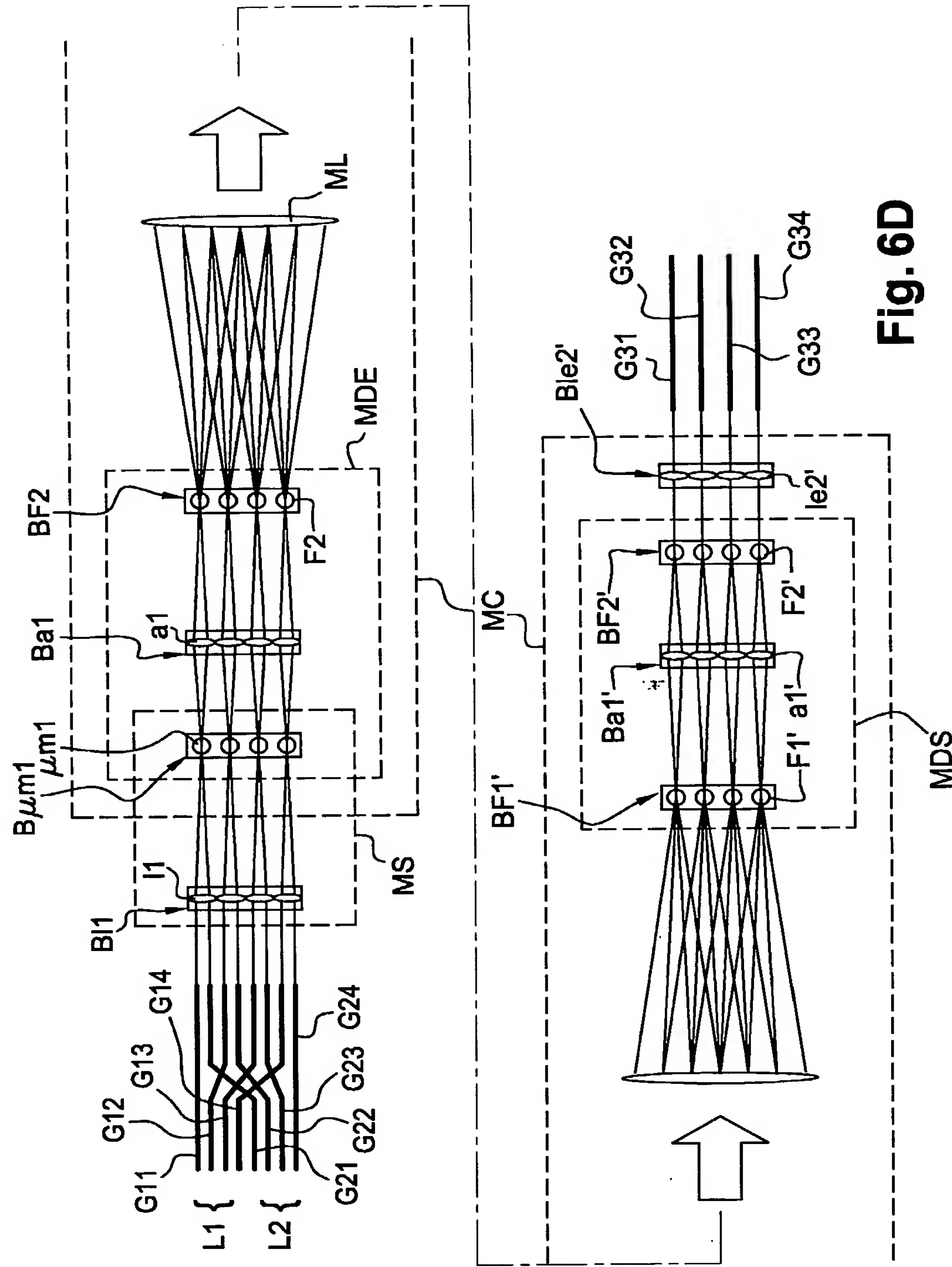


Fig. 6D



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No  
 PCT/FR2004/050739

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 IPC 7 H04Q11/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04Q

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 938 244 A (FUJITSU LTD) 25 August 1999 (1999-08-25) figure 6B	1-24
A	FR 2 821 681 A (TEEM PHOTONICS) 6 September 2002 (2002-09-06) cited in the application	1,23,24
Y	the whole document	2-22
A	FR 2 821 678 A (TEEM PHOTONICS) 6 September 2002 (2002-09-06) cited in the application	1,23,24
Y	the whole document	2-22
	-/--	



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

14 April 2005

Date of mailing of the international search report

20/04/2005

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Meurisse, W

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/FR2004/050739

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DOBBELAERE DE P ET AL: "DIGITAL MEMS FOR OPTICAL SWITCHING" IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER. PISCATAWAY, N.J, US, vol. 40, no. 3, March 2002 (2002-03), pages 88-95, XP001102610 ISSN: 0163-6804	1, 23, 24
A	figure 8	2-22
A	----- US 2002/181852 A1 (HUSAIN ANIS ET AL) 5 December 2002 (2002-12-05) figures 9B, 11, 12 -----	1-24

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/050739

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)	Publication date
EP 0938244	A	25-08-1999	JP	11239100 A	31-08-1999
			EP	0938244 A2	25-08-1999
			US	6433900 B1	13-08-2002
<hr/>					
FR 2821681	A	06-09-2002	FR	2821681 A1	06-09-2002
			EP	1364551 A2	26-11-2003
			WO	02071792 A2	12-09-2002
			US	2004136710 A1	15-07-2004
<hr/>					
FR 2821678	A	06-09-2002	FR	2821678 A1	06-09-2002
			EP	1410092 A1	21-04-2004
			WO	02071126 A1	12-09-2002
			US	2004130810 A1	08-07-2004
<hr/>					
US 2002181852	A1	05-12-2002	US	6453083 B1	17-09-2002
			AU	5299500 A	18-12-2000
			WO	0073840 A1	07-12-2000
			AU	5447100 A	18-12-2000
			AU	6047100 A	18-12-2000
			AU	7570400 A	28-12-2000
			EP	1181612 A1	27-02-2002
			EP	1221063 A2	10-07-2002
			WO	0073841 A1	07-12-2000
			WO	0073842 A1	07-12-2000
			WO	0075710 A2	14-12-2000
			US	6449406 B1	10-09-2002
			US	6445840 B1	03-09-2002
			US	6445841 B1	03-09-2002
<hr/>					

**A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE**  
CIB 7 H04Q11/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

**B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE**

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H04Q

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS**

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	EP 0 938 244 A (FUJITSU LTD) 25 août 1999 (1999-08-25) figure 6B	1-24
A	FR 2 821 681 A (TEEM PHOTONICS) 6 septembre 2002 (2002-09-06) cité dans la demande	1, 23, 24
Y	le document en entier	2-22
A	FR 2 821 678 A (TEEM PHOTONICS) 6 septembre 2002 (2002-09-06) cité dans la demande	1, 23, 24
Y	le document en entier	2-22

-/--



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*G\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

14 avril 2005

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

20/04/2005

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Meurisse, W

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	DOBBELAERE DE P ET AL: "DIGITAL MEMS FOR OPTICAL SWITCHING" IEEE COMMUNICATIONS MAGAZINE, IEEE SERVICE CENTER. PISCATAWAY, N.J, US, vol. 40, no. 3, mars 2002 (2002-03), pages 88-95, XP001102610 ISSN: 0163-6804	1,23,24
A	figure 8	2-22
A	----- US 2002/181852 A1 (HUSAIN ANIS ET AL) 5 décembre 2002 (2002-12-05) figures 9B,11,12 -----	1-24

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale No

PCT/FR2004/050739

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0938244 A	25-08-1999	JP 11239100 A EP 0938244 A2 US 6433900 B1	31-08-1999 25-08-1999 13-08-2002
FR 2821681 A	06-09-2002	FR 2821681 A1 EP 1364551 A2 WO 02071792 A2 US 2004136710 A1	06-09-2002 26-11-2003 12-09-2002 15-07-2004
FR 2821678 A	06-09-2002	FR 2821678 A1 EP 1410092 A1 WO 02071126 A1 US 2004130810 A1	06-09-2002 21-04-2004 12-09-2002 08-07-2004
US 2002181852 A1	05-12-2002	US 6453083 B1 AU 5299500 A WO 0073840 A1 AU 5447100 A AU 6047100 A AU 7570400 A EP 1181612 A1 EP 1221063 A2 WO 0073841 A1 WO 0073842 A1 WO 0075710 A2 US 6449406 B1 US 6445840 B1 US 6445841 B1	17-09-2002 18-12-2000 07-12-2000 18-12-2000 18-12-2000 28-12-2000 27-02-2002 10-07-2002 07-12-2000 07-12-2000 14-12-2000 10-09-2002 03-09-2002 03-09-2002